

NATIONAL
GEOGRAPHIC

SCIENCES

HORS-SÉRIE N° 1

LA SCIENCE EST UNE AVENTURE

5,90€
OCTOBRE-
NOVEMBRE
2011

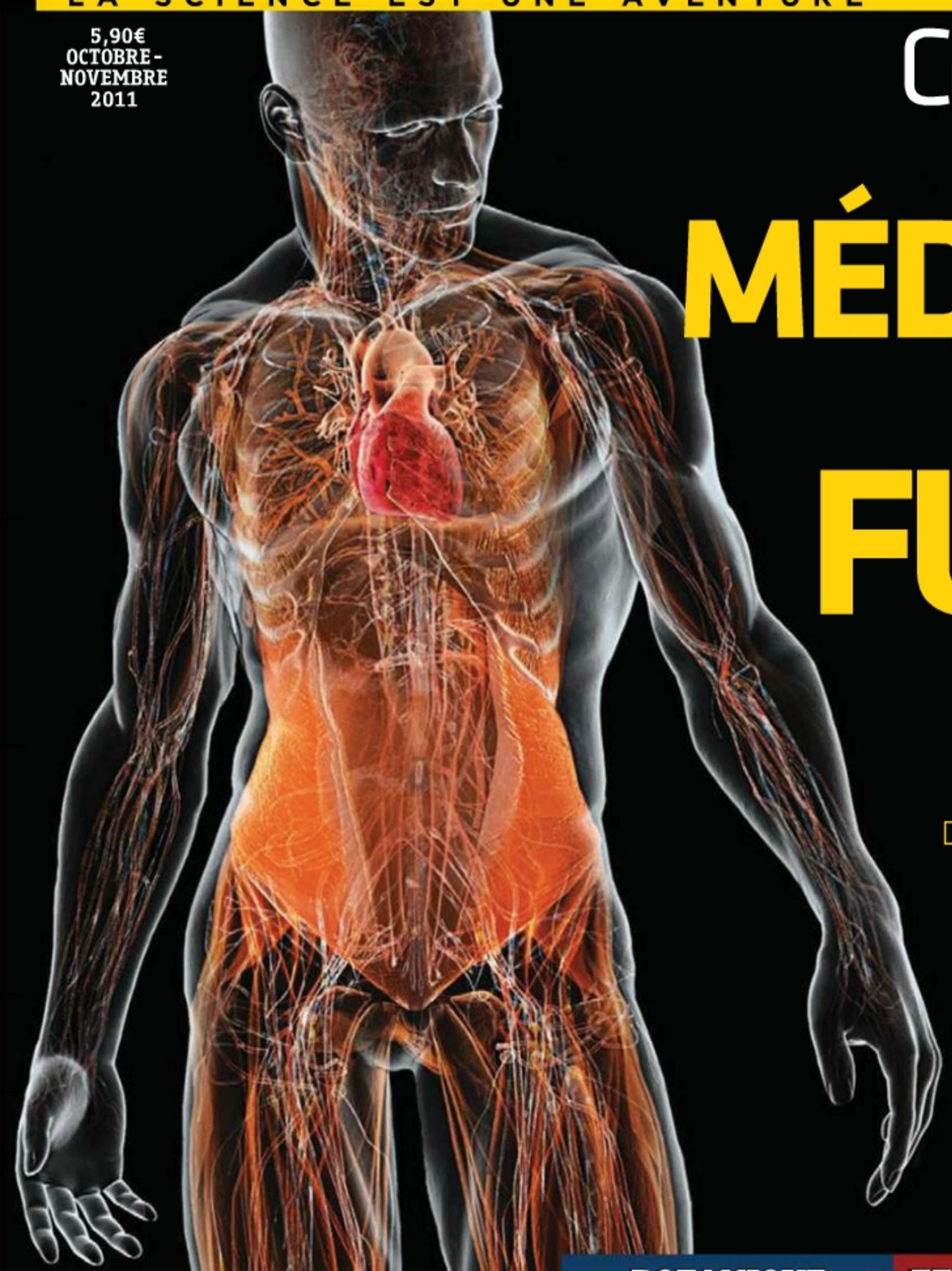
NEUROBIOLOGIE
PLONGÉE
DANS LA TÊTE
DES ADOS



Ce que nous promet la **MÉDECINE DU FUTUR**

LES NOUVELLES
TECHNIQUES
POUR NOUS SOIGNER :

- ALIMENTS-VACCINS
- MÉDICAMENTS SUR MESURE
- ORGANES ARTIFICIELS



BOTANIQUE
L'attaque des
plantes carnivores

TECHNOLOGIE
Les robots
et nous

EXPÉDITION
L'étrange lac
aux méduses

Dell recommande Windows® 7.



Le pouvoir d'en faire plus

Tout en finesse.
Tout en puissance.



Découvrez un portable révolutionnaire. Avec une épaisseur maximum de 2,5 cm (0,97"), le XPS 15z est l'un des ordinateurs les plus fins du monde. Pour une mobilité intense.

Constatez la différence sur dell.fr/xps15z ou appelez 0 825 800 383

Le nouvel ordinateur XPS™ 15z a été conçu pour ceux qui connaissent la signification du mot "compromis", mais qui ont préféré l'ignorer. Choisissez les performances rapides, et visiblement intelligentes d'un portable Dell optimisé par le processeur Intel® Core™ i7 de 2e génération.

Celeron, Celeron Inside, Core Inside, Intel, Logo Intel, Intel Atom, Intel Atom Inside, Intel Core, Intel Inside, Logo Intel Inside, Pentium, Pentium Inside sont des marques de commerce d'Intel Corporation aux Etats-Unis et dans d'autres pays. Dell S.A. capital : 1 676 939 €. 1 Rond Point Benjamin Franklin - 34938 Montpellier Cedex 9 - France. N° 351 528 229 RCS Montpellier - APE 46S1Z.





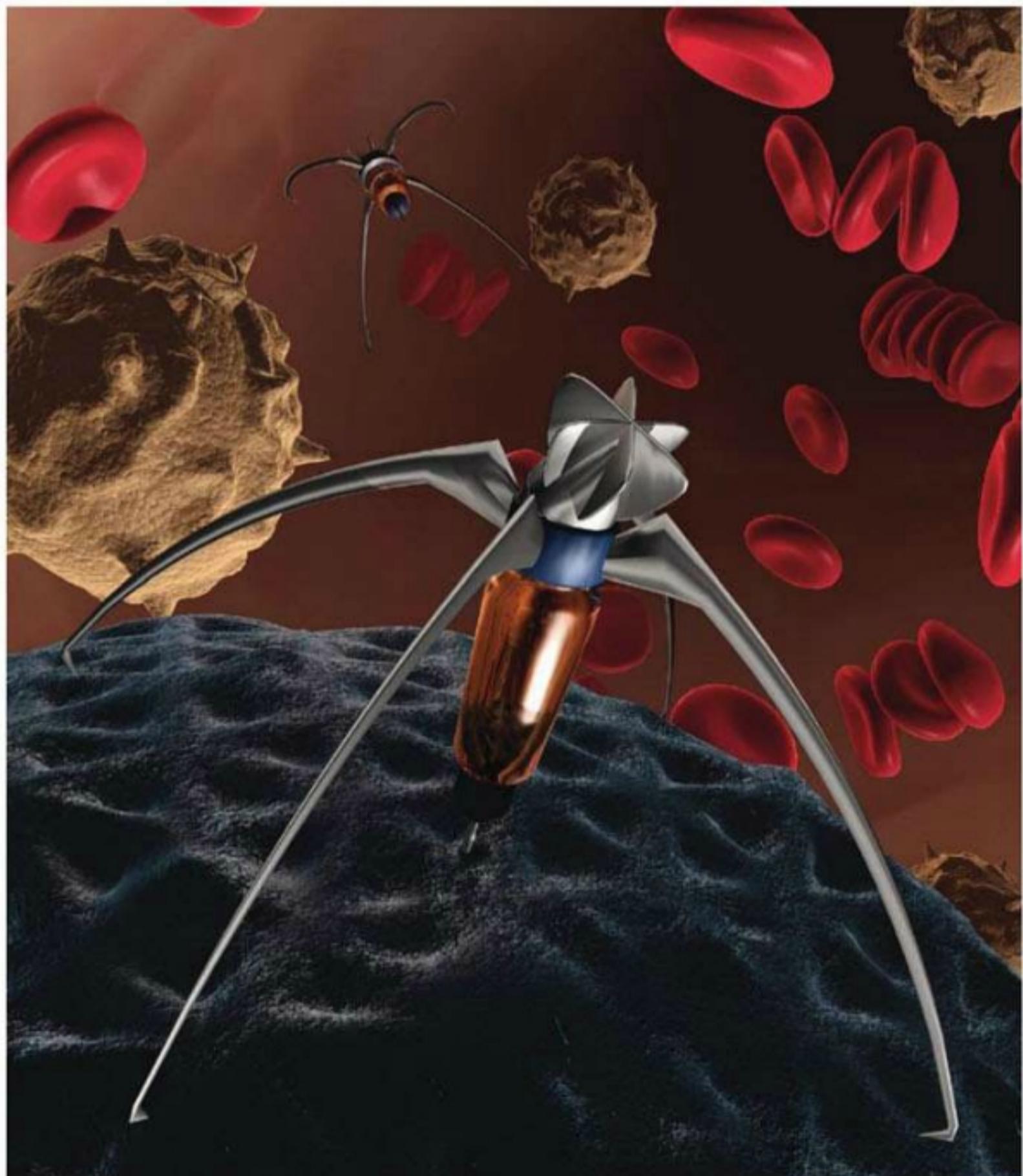
NATIONAL GEOGRAPHIC

SCIENCES

HORS-SÉRIE N° 1 OCTOBRE-NOVEMBRE 2011

LA SCIENCE EST UNE AVENTURE

- 8 | **DESSINER L'AVENIR**
TOUR DE MAIN
TECHNOLOGIQUE
La révolution des machines 3D...
- 11 | **ACTUALITÉS**
CINQ PAGES de découvertes insolites de la science dans le monde.
- 16 | **LES EXPLORATEURS DE LA SCIENCE**
L'ÉTRANGE LAC AUX MÉDUSES
Des scientifiques étudient en mer des Philippines des lacs salés abritant des méduses en pleine évolution.
- 24 | **CLIMAT**
LE TEMPS CHANGE, LES VINS TRINQUENT
- 38 | **RADIOGRAPHIE DE L'ÉVOLUTION**
CROCODILES : MACHINES À REMONTER LE TEMPS
La physiologie des crocodiles nous en dit beaucoup sur le mode de vie de leurs ancêtres.
- 50 | **LE CHIFFRE**
600 INDIVIDUS DANS UN AQUARIUM CORALLIEN
- 52 | **PROGRÈS EN VUE**
LES ROBOTS ET NOUS
Les ingénieurs conçoivent des robots sophistiqués à figure humaine. Troublant. Saurons-nous interagir avec eux ?
- 64 | **ENCYCLOPÉDIE DE L'INSOLITE**
TOUT EST BON DANS LE COCHON

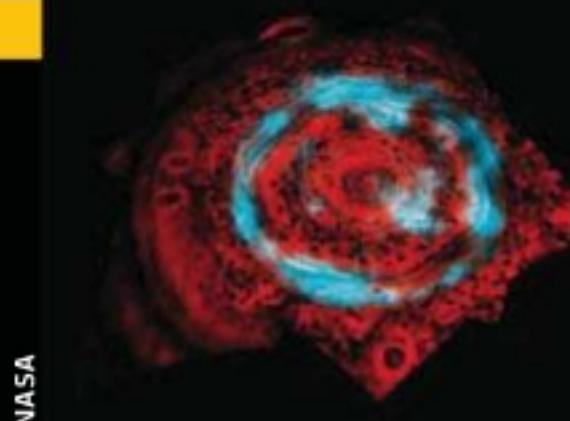


LOOKATSCIENCES

26 ➔

EN COUVERTURE
Ce que nous promet la médecine de demain

Notre santé ne sera plus l'affaire des seuls médecins. Généticiens, informaticiens ou autres ingénieurs en électronique seront désormais aussi de la partie.



106 | LA TERRE DONNE L'ÉCHELLE

Notre planète comparée à d'autres corps célestes.

66 | LA SCIENCE DE LA DÉMESURE

LA QUÊTE DU KILOGRAAL

Les laboratoires cherchent à mettre au point les unités de mesure ultimes, dont le kilo. Après avoir dématérialisé notre bon vieux mètre.

86 | EFFETS DE MODE

SCIENCES EN SÉRIE

Les Simpson et d'autres héros de la télévision trouvent parfois l'inspiration dans la physique ou les maths. L'humour en équations.

90 | L'INFOGRAPHIE

LE PÉTROLE

92 | LES QUESTIONS DE NG SCIENCES

LE HASARD, UNE NÉCESSITÉ ?

Quel rôle joue la chance dans les grandes avancées scientifiques et techniques ?

96 | FORTE TÊTE

L'HOMME QUI FAISAIT AIMER LES MATHÉMATIQUES

Portrait de Cédric Villani, mathématicien français et lauréat de la médaille Fields.

100 | L'ENVIRONNEMENT ET NOUS

LE SUSHI, UN SOUCI POUR LA PLANÈTE ?

102 | SORTIES

DES CONFÉRENCES, DES EXPOS, DES LIVRES...

105 | DANS LE NATIONAL GEOGRAPHIC

UN MONDE SANS GLACE

113 | CHRONIQUE

BETTINA LAVILLE

Les dernières avancées du Giec vues par une juriste, spécialiste du développement durable.

114 | CARTE POSTALE

CYNTHIA CHEN, GÉOCHIMISTE

Expédition en Antarctique.



HÉLÈNE SCHMITZ

42

Le monde du vivant
Attraction fatale

Les plantes carnivores sont une curiosité. Et une énigme. Pourquoi des végétaux se comportent comme des prédateurs ?



KITRA KAHANA

72

L'homme à l'étude
Dans la tête des ados

Ils sont imprévisibles, désorganisés. Est-ce une impression ou se passe-t-il quelque chose d'étrange dans leur cerveau ? Enquête.



Nespresso invente l'Édition Limitée durable...

Une nouvelle aventure commence...

Chers lecteurs,

Voici le premier numéro du *NG Sciences*. À travers lui, nous avons voulu offrir une autre vision d'un monde parfois réputé hermétique ou élitiste. Nous sommes partis d'un constat : les sciences sont entrées dans notre quotidien. L'eau qui bout dans la casserole est une source inépuisable de questions pour les physiciens et les matheux. Derrière un banal bulletin météo se cachent des dizaines de chercheurs, tant sur le terrain qu'en laboratoire. Même les séries télé s'y mettent, avec leurs références médicales. Autrement dit, nous sommes tous des Monsieur Jourdain, côtoyant les sciences sans nous en rendre compte.

Ce monde, nous souhaitions vous le dévoiler à la manière du *National Geographic* : visuelle, basée sur le reportage humain et l'aventure. Dans ce numéro, vous partirez en mer des Philippines avec des biologistes en quête des secrets de l'évolution. Vous découvrirez nos enquêtes sur la médecine du futur et le cerveau des adolescents. Nous avons eu la chance, également, de rencontrer Cédric Villani, un grand mathématicien qui aime partager la passion de sa discipline avec le grand public. Il nous reste, à nous aussi, énormément de sujets et de coups de cœur à vivre avec vous. Il nous tarde déjà de le faire. En attendant la suite, l'équipe du *National Geographic France* qui a conçu ce magazine vous remercie pour votre fidélité et vos remarques pertinentes.



FRANÇOIS MAROT ET CÉLINE LISON



Voici *Dhjana*, un Grand Cru entièrement issu de notre programme AAA*.

Depuis 2003, le programme Nespresso AAA Sustainable Quality™*, en collaboration avec l'ONG The Rainforest Alliance, œuvre pour un engagement long terme avec les producteurs, afin de proposer des cafés d'exception, améliorer leur qualité de vie, augmenter le rendement



des plantations et préserver le milieu naturel. 60 % de notre production de café vert provient de fermes associées au programme. Notre objectif : parvenir à 80 %, d'ici 2013. Pour plus de renseignements, rendez-vous sur www.nespresso.com/dhjana

NESPRESSO

Le café corps et âme

S

ous l'effet d'un faisceau laser qui polymérisé (durcit) une résine liquide, une chaise émerge progressivement de son bain. Ailleurs, une lampe surgit d'un seul tenant d'une cuve remplie de poudre polyamide. Ces deux scénarios n'ont rien de futuriste. Ils sont possibles depuis plusieurs années grâce à la fabrication additive : un ensemble de procédés permettant de confectionner, par ajout de matière et par strates, un objet physique à partir de sa numérisation 3D.

À la différence des méthodes classiques où les pièces sont moulées, obtenues par usinage ou par découpage d'un bloc de matière, les procédés en question donnent la possibilité de créer des silhouettes tridimensionnelles par couches successives. Ils donnent ainsi corps « à des formes

strictement irréalisables si on utilise une autre technologie », précise Georges Taillandier, président de l'Association française de prototypage rapide (AFPR). « La fabrication additive permet d'élaborer des objets complexes en une seule opération, comme un ruban de Möbius, qui subit une torsion d'un demi-tour, ou des volumes imbriqués les uns dans les autres : une sphère dans une sphère, une structure entrelacée... »

Comment ces performances sont-elles possibles ? « Un objet est modélisé en trois dimensions à l'aide d'un logiciel de CAO (conception assistée par ordinateur) 3D volumique. Puis le fichier numérique de l'objet est envoyé par le biais d'Internet à une société de service spécialisée, avant d'être intégré dans le logiciel d'une machine de fabrication additive.

L'ordinateur pilote alors un faisceau laser, qui permet de solidifier soit de la résine epoxy liquide (procédé dit de stéréolithographie), soit de la poudre polyamide

(par frittage de poudre) ou métallique (par fusion de poudre). »

Il existe d'autres procédés de fabrication additive. Avec l'impression 3D, une résine liquide photosensible est déposée de manière sélective par une tête d'impression, et polymérisée par un flash UV. Même si certaines machines d'impression 3D coûtent aujourd'hui entre 2 000 et 3 000 euros, elles ne sont pas pour autant utilisables par tout un chacun. Car la confection au préalable d'un objet concevable sur un logiciel de CAO 3D volumique – d'un coût minimum de 500 euros – nécessite un savoir-faire certain.

Employées à la fin des années 1980 dans l'industrie automobile, l'armement et l'aéronautique, ces technologies de fabrication additive ont progressivement servi à la médecine (conception de prothèses), aux sciences du vivant, au design et à l'art. Ces premières applications étaient destinées à des maquettes (pour tester une fonctionnalité ou une forme) ou à ▷

HIGH-TECH

TOUR DE MAIN TECHNOLOGIQUE

LES INNOVATIONS TECHNIQUES ONT TOUJOURS GÉNÉRÉ DE NOUVELLES ESTHÉTIQUES. EN TÉMOIGNE LA FABRICATION ADDITIVE, QUI PERMET UNE VRAIE LIBÉRATION DES FORMES.

PAR MYRIAM BOUTOULLE

MODÉLISÉE en 3D avant d'être reproduite par la société française Initial, cette main émerge de son bain de résine. Elle reconstitue la structure osseuse du patient et aide les chirurgiens à préparer l'opération.



>DESSINER L'AVENIR



LE FRITTAGE DE POUDRE permet de créer des formes irréalisables avec d'autres technologies, comme ce plateau Rollercoaster pour neuf oranges, de Janne Kyttanen (2006).

des prototypes, d'où l'appellation de « prototypage rapide ». Elles servent aujourd'hui à réaliser des objets en fabrication directe. Des pièces de mobilier s'affranchissent ainsi des contraintes des chaînes de production et de distribution. Un mode idéal pour des pièces uniques ou pour les petites séries produites à la demande.

« Ces technologies innovantes permettent aux designers de créer des formes inédites », souligne Élodie Ternaux, codirectrice de MatériO, une société de veille dans le domaine des technologies et des matériaux innovants, à Paris. Le designer François Brument, qui les expérimente depuis 2005, confirme : « La fabrication additive permet une liberté formelle. Dans l'absolu, il n'y a presque pas de limites. N'importe quelle forme en 3D peut être obtenue. Nous ne sommes pas liés à la complexité d'un outillage de mise en œuvre, ni assujettis à un moule dans lequel il faut aménager des tiroirs pour créer des silhouettes complexes. »

AINSI, SA CHAISE Chair#71 (2007) résulte d'un programme permettant de générer une infinité de variations dans une structure de mailles entrelacées. « On sort de la logique du moule, outil emblématique de la révolution industrielle et du design, où l'on produit toujours la même pièce », ajoute François Brument. À Londres, le Victoria and Albert Museum l'a compris, qui exposait, en septembre



ONE SHOT,MGX BY PATRICK JOUIN - PHOTO : THOMAS DUVAL



3D TOP,MGX BY IRIS VAN HERPEN - PHOTO : MICHEL ZOETER

dernier, un ensemble de pièces de designers réalisées à partir des technologies de fabrication additive, sous l'intitulé « Révolution industrielle 2.0 ».

L'une des pièces présentées, le tabouret pliant One Shot (2006), de Patrick Jouin, a été fabriqué par frittage de poudre sans aucun assemblage. « L'objet est entièrement réalisé par le rayon laser. Les assemblages des pièces sont faits par la machine, sans aucune intervention humaine. Comme si on pouvait fabriquer une montre avec tous ses rouages sans la monter », avait déclaré

le designer en 2008. De la même façon, sa lampe articulée Bloom (2010) intègre charnières et coulisses fabriquées en une seule opération. Réaliser des pièces complexes en une fois, tel est le défi que relève la fabrication additive. Ainsi, l'artiste Christian Lavigne parvient-il à « sculpter » en 3D avec précision des formes imbriquées les unes dans les autres, comme dans Cybersaly 3 (2003), une tête en volume intégrant une multitude de têtes miniatures. « Une allégorie des nombreuses facettes de l'être humain », conclut-il. □

ROLLERCOASTER © FREEDOM OF CREATION BY JANNE KYTTANEN

La caféine pourrait être utilisée pour inhiber l'action d'une molécule en cause dans la maladie de Parkinson, l'adénosine A_{2A}. De nouveaux médicaments sont attendus.



ADAM GAULT/GETTY IMAGES

PAGES RÉALISÉES PAR CLAIRE LECOEUVRE, ANNE DEBROISE ET MYRIAM DÉTRUY

Les bananes menacées par un champignon

C'est peut-être le fruit le plus consommé au monde, mais la banane est mise en péril par la « maladie de Panamá », due à un champignon vivant dans le sol. Parti d'Asie, celui-ci est aujourd'hui localisé en Amérique latine. En quelques décennies, il pourrait détruire une grande partie des plants mondiaux...



35

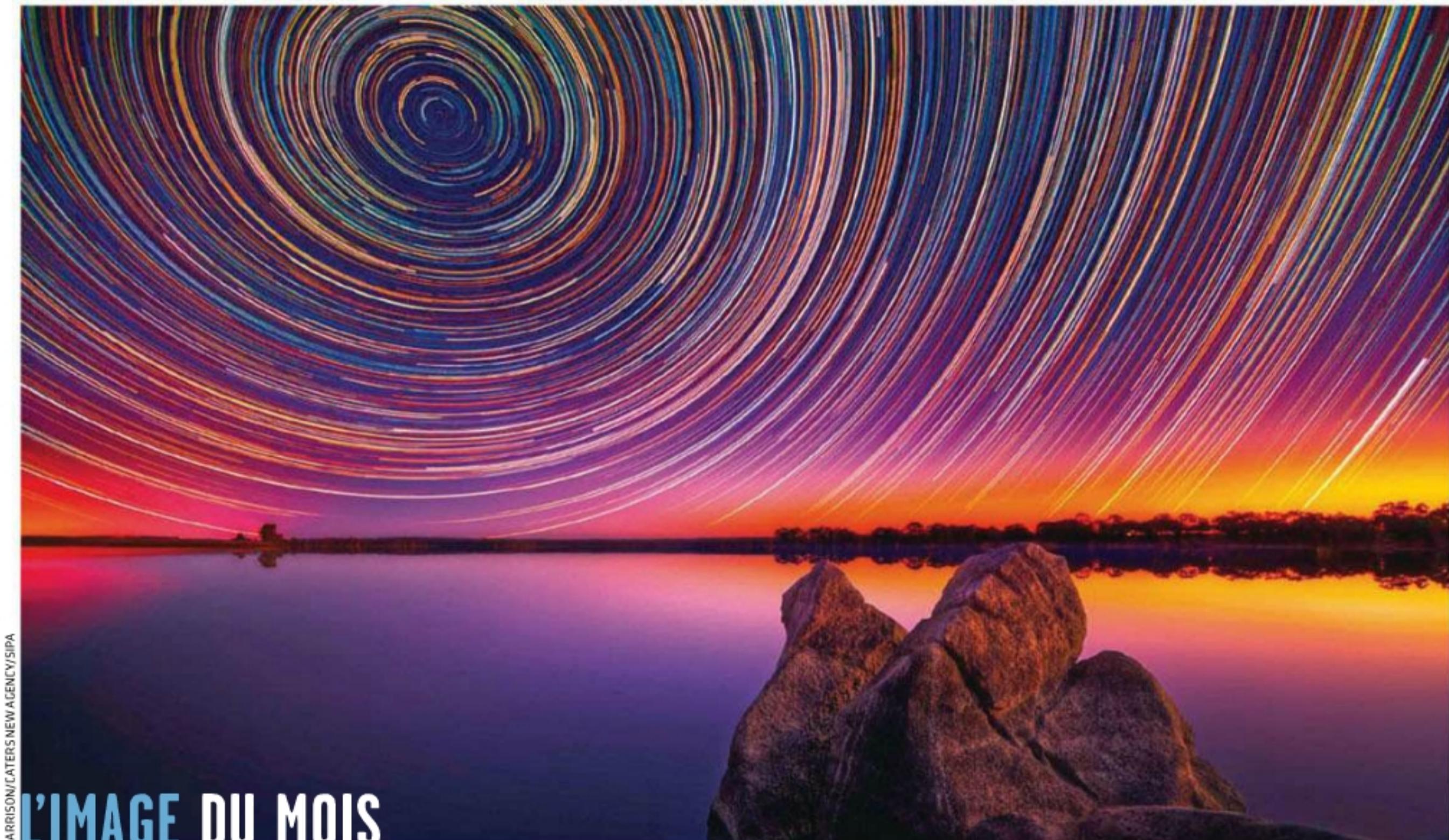
MILLIARDS de dollars, c'est le coût des catastrophes naturelles depuis janvier 2011 aux États-Unis.

Char caméléon

Doté d'une cuirasse qui copie l'environnement, il devient quasi impossible à détecter.



BAE SYSTEMS



HARRISON/CATERERS NEW AGENCY/SIPA

L'IMAGE DU MOIS

LINCOLN HARRISON obtient ces images psychédéliques grâce à un temps de pose record de quinze heures. Il parcourt l'outback australien et affronte les nuits fraîches pour prendre des photos. Ici, le ciel au-dessus du lac Eppalock, dans l'État de Victoria.

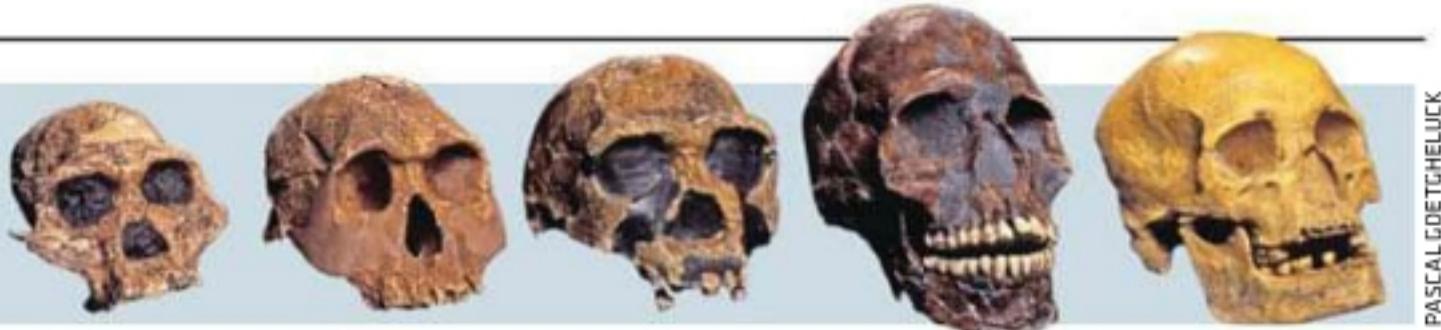
Le venin insoupçonné des couleuvres

Les couleuvres sont venimeuses... Telle est la conclusion d'une équipe du Muséum national d'histoire naturelle de Paris, dirigée par Nicolas Vidal. L'étude a porté sur l'évolution des serpents depuis leur apparition, il y a 170 millions d'années, et prouve que le venin a toujours existé. Les couleuvres sécrètent donc elles aussi des substances puissantes, potentiellement dangereuses pour l'homme. A. D

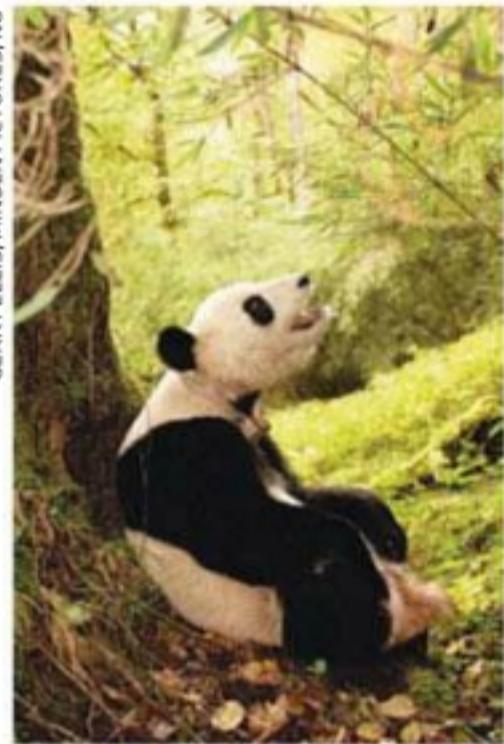


PETE OXFORD/MINDENPICTURES/NG

● plus petit que
celui de l'homme de Cro-Magnon ?
De 15 à 20 % selon une équipe
du Muséum national d'histoire naturelle.



PASCAL DOETGHELUCK



ROULER GRÂCE AU PANDA

Des chercheurs américains ont découvert, dans les déjections des pandas, des bactéries pouvant permettre la production en masse et bon marché de biocarburant. On sait depuis longtemps que ces mammifères possèdent dans leur système digestif des bactéries capables de transformer la cellulose en nutriments. Un élément indispensable pour ces animaux qui se nourrissent quasi exclusivement de bambous. Les scientifiques, eux, voudraient utiliser les enzymes de ces bactéries pour décomposer des végétaux réputés très résistants comme de l'herbe, de la sciure de bois ou des déchets agricoles. Autant de produits qui ne priveront personne de nourriture.

ERWAN AMICE/CNRS

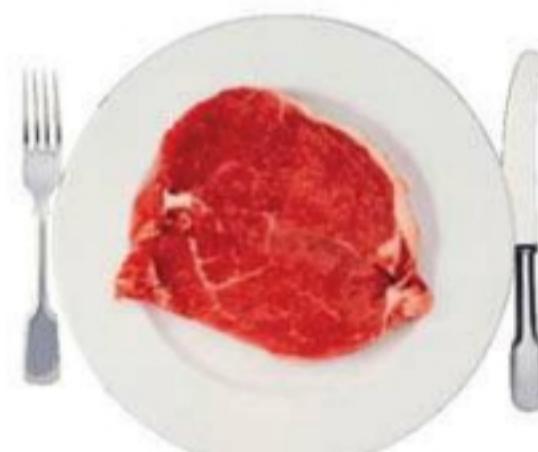
LE LAMBI THERMOMÈTRE DES CARAÏBES

Les Antillais soufflent dedans pour communiquer d'un point à l'autre de l'île. Les scientifiques de l'université de Brest, eux, s'en servent comme d'un thermomètre à remonter le temps... Le lambi, un gros coquillage qui peuple les fonds sableux et peu profonds des Caraïbes, enregistre en effet dans sa coquille en carbonate de calcium toutes les modifications de l'environnement au cours de sa vie. Année après année, la coquille qui se développe archive la température, la salinité, mais aussi les éventuelles pollutions de l'océan qui l'entoure. Dans les mois qui viennent, plusieurs missions vont équiper des mollusques de capteurs pour établir un lien entre les paramètres environnementaux et la composition de la coquille. Dès lors, ils pourront reconstruire les changements climatiques survenus dans les eaux mexicaines en analysant les fossiles de lambis. Ceux-ci sont parfois vieux de plusieurs dizaines de milliers d'années ! A. D.



DES STEAKS ARTIFICIELS AU SUPERMARCHÉ ?

Des centres de recherche en Europe et aux États-Unis travaillent sur de la viande « poussant » en laboratoire. Ces steaks – qui seraient fabriqués à partir des cellules souches musculaires – sont supposés posséder une texture et un goût proches de ceux de leur homologue animal. Si cette technique se développerait, elle aurait deux avantages : l'humanité n'aurait plus besoin d'élever, dans des conditions parfois déplorables, des millions d'animaux et de les tuer de façon cruelle. Nous pourrions aussi éviter la pollution engendrée par l'élevage intensif ; elle génère en effet environ 20 % des émissions de gaz à effet de serre.



PAUL WEBSTER/GETTY IMAGES



BMW

La 330i de BMW, totalement autonome, apprend aux pilotes à optimiser leur conduite.

Ce sous-marin MIR a exploré le lac Léman (Suisse) durant plus d'un mois. Objectif : trouver des traces de micropolluants.



JEAN-MARC BLACHE

Le vélo le plus rapide du monde

Allongé la tête en avant dans la coque de son deux-roues, Francesco Russo est devenu champion du monde de vitesse le 2 août 2011. Le cycliste suisse a parcouru 91,178 km en une heure lors de la course Dekra Test Oval, en Allemagne. Le créateur originel du vélo Eiviestretto, Damjan Zabovnik, remportait depuis 2006 tous les prix européens et mondiaux de rapidité. Avec un ancien modèle, Eivie III,

ARNEHODAHL

il a même atteint 124,16 km/h en vitesse de pointe, le 13 septembre 2010. Ses véhicules dits à « propulsion humaine » sont créés sur mesure. Tout est prévu pour être plus aérodynamique. Obligé de regarder la route dans un miroir, Damjan s'était entraîné longtemps avant de devenir champion. En 2010, il a passé la main à Francesco Russo, et a choisi de lui enseigner sa technique. Relais gagnant. C. L.



1

MILLION D'ARTICLES
scientifiques sont publiés chaque année dans le monde.

V. MONCORGÉ / DOKATSCIENCES.COM



LA MAIN ROBOT
de l'entreprise Touchlogy, mesure les frottements et teste les crèmes pour la peau.

« Lorsqu'une chose est juste, il faut la faire, aurait-on mille raisons de s'abstenir. »



S. BIANCHETTI/LEEMAGE

MARIE CURIE

PHYSICIENNE ET CHIMISTE,
LA SEULE FEMME À AVOIR REÇU DEUX PRIX NOBEL.

2011 FÊTE 100 ANS DU 2^e PRIX NOBEL DE MARIE CURIE.

361,3

KILOMÈTRES. C'EST LA DISTANCE PARCOURUE PAR UN VÉHICULE ÉLECTRIQUE SANS RECHARGE.

C'est aussi le premier record du monde en la matière. Le véhicule, un quadricycle équipé de batteries au lithium, a mis dix-sept heures pour parcourir cette distance, à une vitesse moyenne de 20 km/h. Il se charge en quelques heures (de deux à quatre). La firme française Ora le commercialise déjà, à 6 000 €.



TONY FREETH

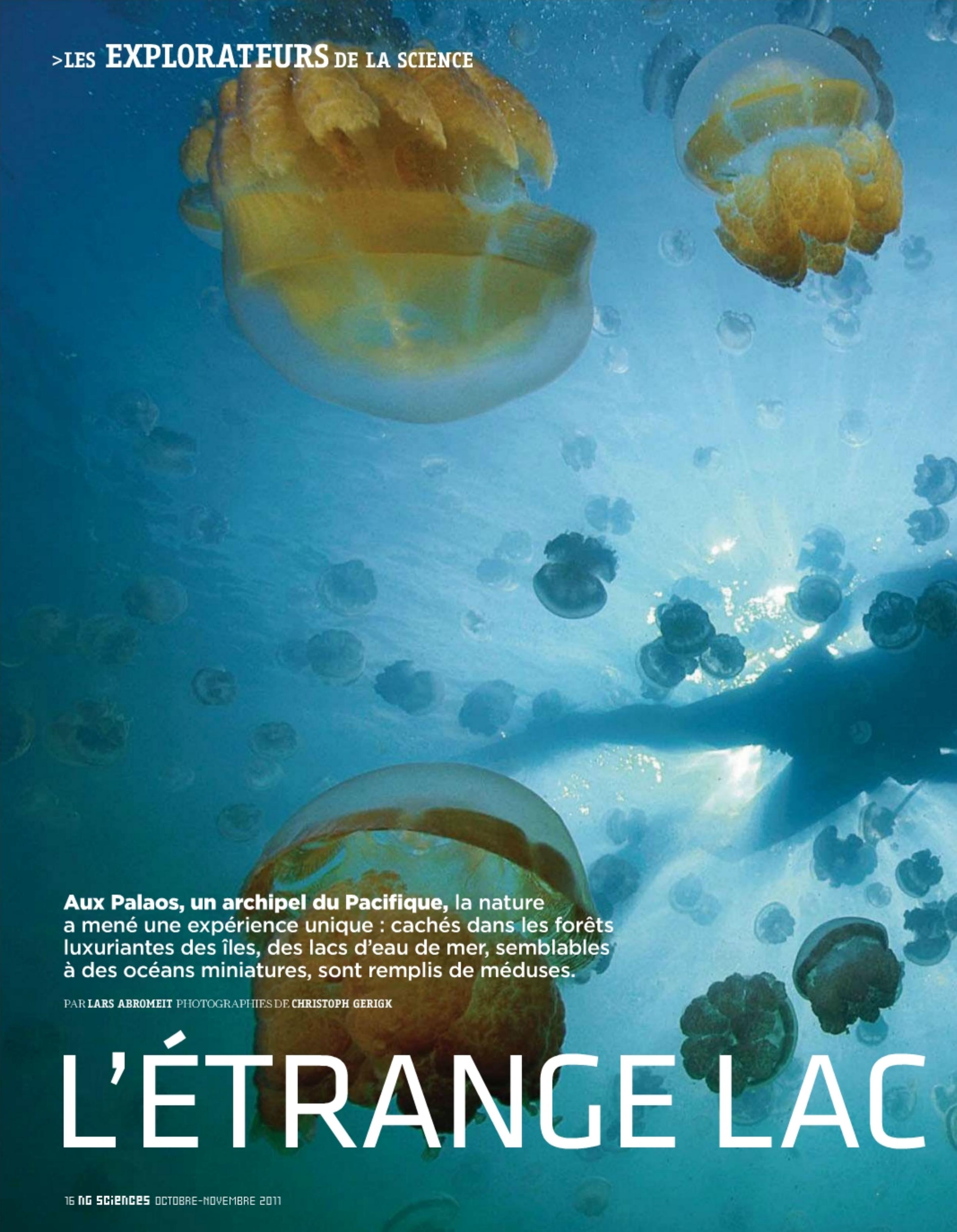
LE MÉCANISME D'ANTICYTHÈRE

UNE EXTRAORDINAIRE BOÎTE À IDÉES

Elle fut découverte en Grèce en 1900, à bord d'une épave. Depuis, la machine d'Anticythère (conçue entre le II^e et le I^e siècle av. J.-C.) s'est avérée être le mécanisme le plus sophistiqué du monde hellénistique : plus de trente engrenages en bronze, capables de reproduire les mouvements du Soleil, de la Lune, et sans doute des cinq planètes connues à l'époque. Cette pièce unique représentait les cycles cosmiques antiques des civilisations babylonienne, grecque ou encore égyptienne. M. D.

LES BACTÉRIES sont étonnantes. Une chercheuse israélienne les a surprises reliées entre elles par des tunnels constitués de leur propre membrane. Elle a montré que des bactéries voisines, même d'une espèce différente, se connectent pour échanger des gènes ou de grosses protéines. Elles pourraient ainsi se transmettre des protéines de résistance aux substances antibactériennes. A. D.

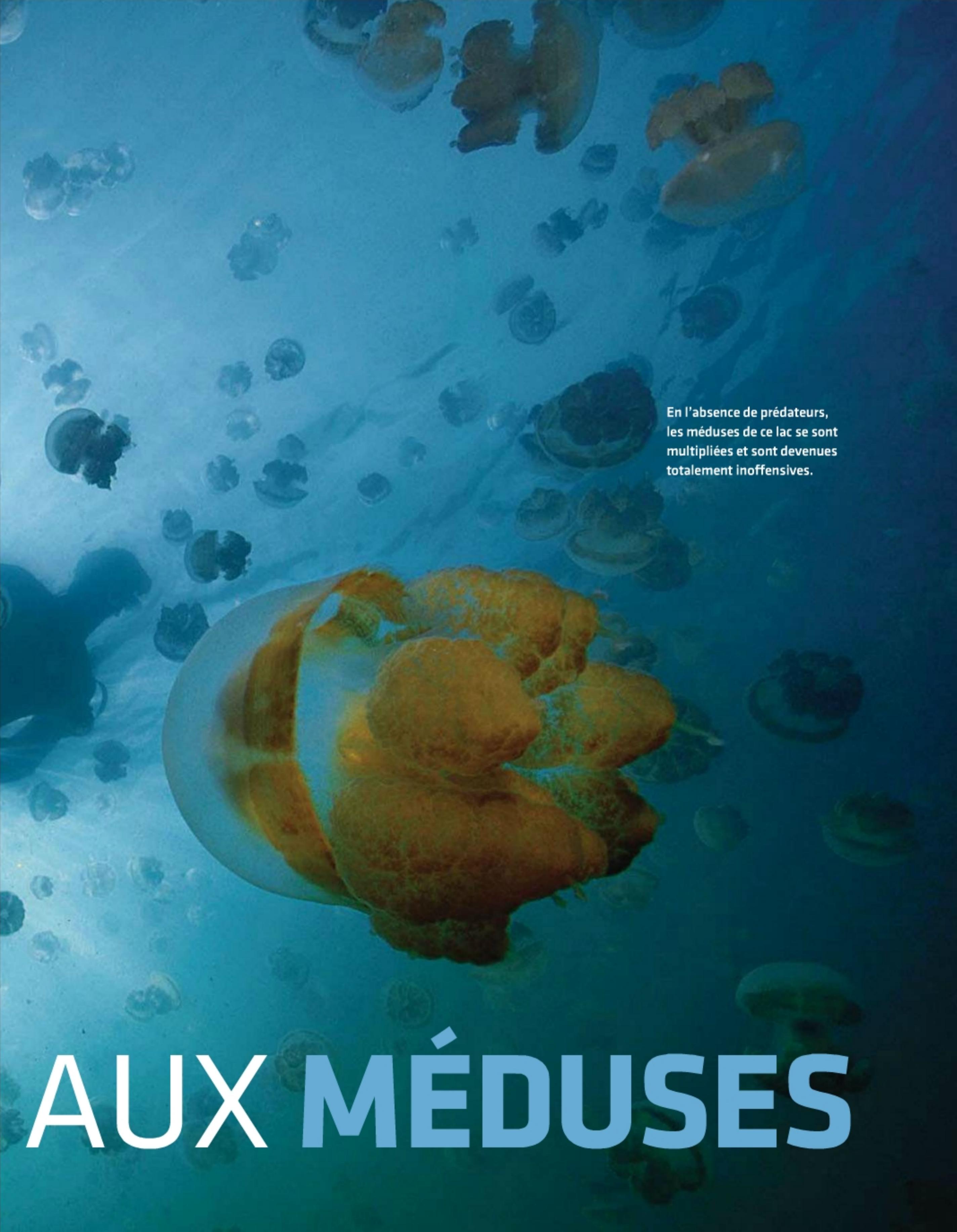
>LES EXPLORATEURS DE LA SCIENCE



Aux Palaos, un archipel du Pacifique, la nature a mené une expérience unique : cachés dans les forêts luxuriantes des îles, des lacs d'eau de mer, semblables à des océans miniatures, sont remplis de méduses.

PAR LARS ABROMEIT PHOTOGRAPHIES DE CHRISTOPH GERIGK

L'ÉTRANGE LAC



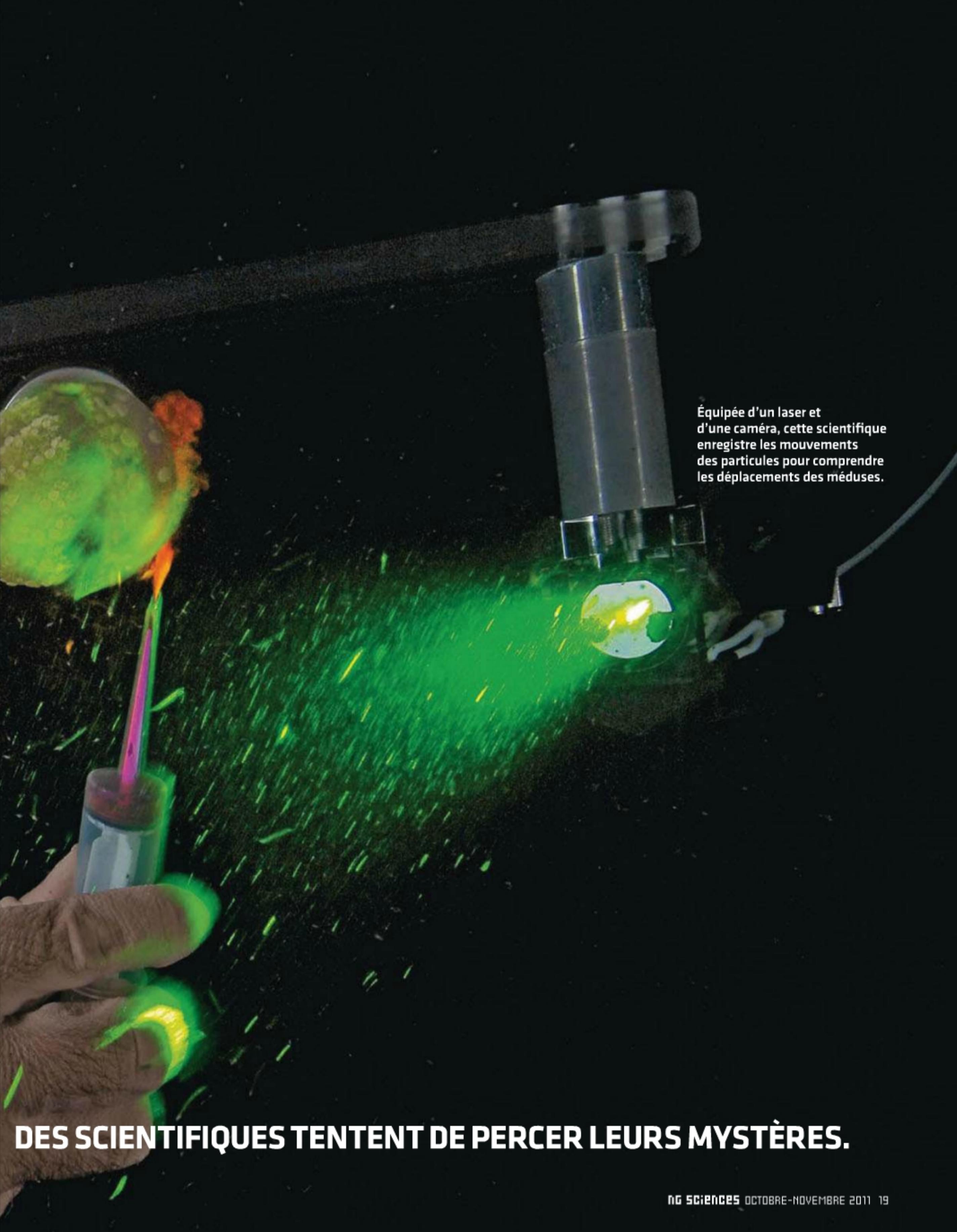
En l'absence de prédateurs,
les méduses de ce lac se sont
multipliées et sont devenues
totalement inoffensives.

AUX MÉDUSES

>LES EXPLORATEURS DE LA SCIENCE



BIODIVERSITÉ
DANS LES LACS MARINS DES PALAOS, PARADIS DES MÉDUSES,



Équipée d'un laser et
d'une caméra, cette scientifique
enregistre les mouvements
des particules pour comprendre
les déplacements des méduses.

DES SCIENTIFIQUES TENTENT DE PERCER LEURS MYSTÈRES.



Situé légèrement au-dessus du niveau de la mer, ce lac est totalement fermé.

D

ans le Pacifique, des marins prétendent que le meilleur moyen de découvrir une île est de commencer par en rêver. Le chef de notre équipe de recherches, Michael Dawson, la quarantaine, biologiste marin à l'université californienne de Merced, est l'un de ceux qui ont suivi leurs rêves. Parmi les siens : décortiquer les mécanismes de l'évolution, la genèse même de la vie à travers le temps et l'espace. Pour cela, il a choisi le site d'Ongeim'l Tketau – baptisé aussi lac aux Méduses. Des troncs putréfiés jonchent les rives. Au-dessus de nos têtes, dans la canopée, des volatiles se plaignent à grands cris du temps lourd, tandis que de la vase alluviale ferment dans les bosquets de mangrove.

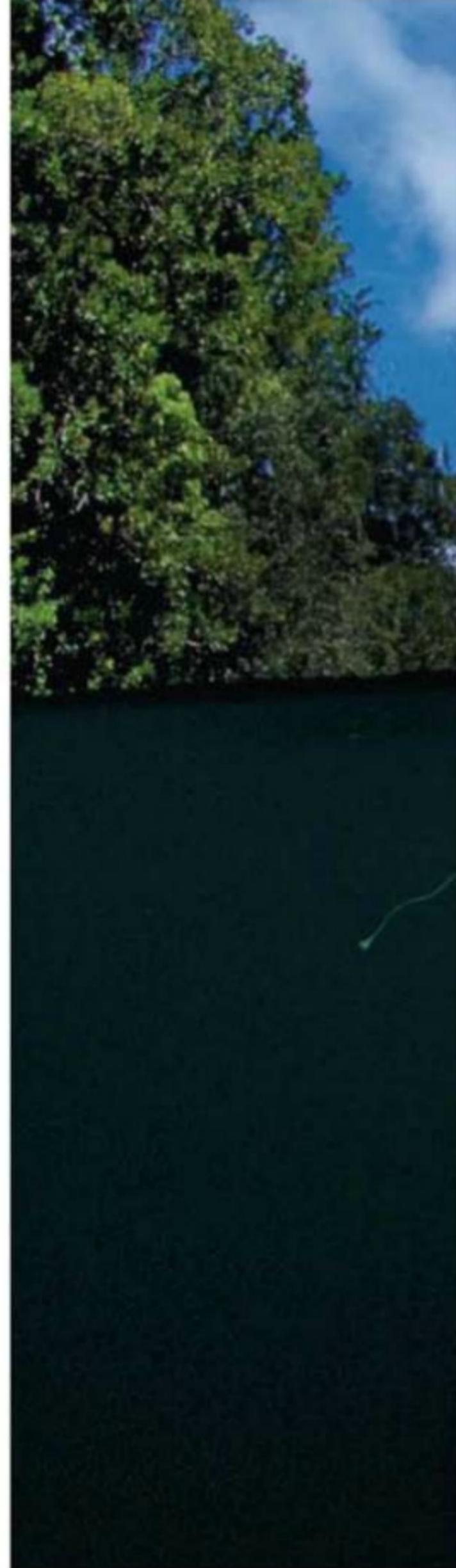
Dans les premiers mètres d'eau, on n'en distingue que quelques-unes sous les branches et les racines aériennes qui parsèment les rives. Puis ce sont plusieurs dizaines, voire des centaines, des milliers de méduses qu'on aperçoit dans les profondeurs du lac en bancs dorés et palpitants. Certaines sont plus petites que des pièces de monnaie ; d'autres sont suffisamment grandes pour remplir entièrement le champ de vision de nos masques de plongée. Ces espèces du genre *Mastigias* rebondissent contre nos épaules et nos joues, s'enroulent autour de nos coups, et nous lancent des cellules urticantes sur la peau.

Qu'est-ce qui a bien pu conduire ces animaux vivant d'ordinaire dans l'océan au cœur de ce minuscule étang ? Comment y survivent-ils ? Et surtout, pourquoi sont-ils si nombreux ?

AU COEUR D'UNE ÎLE déserte et escarpée de l'océan Pacifique, le lac d'Ongeim'l Tketau atteint 420 m de long, 150 m de large et 30 m de profondeur. Enclavé et rempli d'eau salée, il est habité par une vie marine : des méduses, mais aussi des poissons, des éponges, des tuniciers... Un lac marin forme ainsi une version miniature, mesurable, de l'océan. Une « île d'eau de mer » en quelque sorte. Les

espèces se développent ; elles changent, se divisent, et, à un moment donné, disparaissent... Or, comme une loupe, une île amplifie ces phénomènes, facilitant la compréhension du mécanisme de la biologie sur le long terme.

Les scientifiques n'ont découvert, jusqu'à présent, que 200 lacs marins de ce type dans le monde... Aux Palaos, soixante-douze d'entre eux se dissimulent dans le paysage karstique de l'archipel. Ces étendues d'eau remontent au pléistocène, il y a quelque 15 000 ans. À l'époque, les masses glaciaires ont





Au moyen d'un filet spécialement conçu à cet effet, Michael Dawson piège le zooplancton du lac.

CHAQUE LAC EST UN MICROCOOSME ISOLÉ. CERTAINS SONT SI GRANDS QUE DES REQUINS Y HABITENT.

commencé à fondre. Le niveau océanique est alors monté, et l'eau de mer a pénétré le calcaire poreux, puis rempli les vallées et les canyons à l'intérieur des terres. Jusqu'à il y a environ 5 000 ans, quand les océans ont fini par se stabiliser à leurs niveaux actuels. Des organismes arrivés en dérivant dans la cuvette n'ont pas pu retrouver la sortie, et ils ont dû élaborer de nouvelles stratégies pour survivre à l'isolement. D'où l'apparition de nouvelles espèces.

« Chaque lac est un microcosme isolé, explique Dawson. Certains d'entre eux

sont si grands et si complexes que des requins, des barracudas et des chin-chards y habitent ; mais d'autres ne contiennent que des algues, des bactéries et des copépodes. »

Les chercheurs estiment que les sédiments déposés sur le lit d'Ongeim'l Tketau remontent à environ 10 000 ans. L'époque où les premières méduses venues de la mer ont été rejetées dans la cuvette du lac. Elles y ont trouvé un nouvel – et meilleur – habitat. Sans rivaux ni courants forts, il était même rempli de copépodes nutritifs. ▶

MICHAEL DAWSON est également venu pour ces organismes. En équilibre sur un radeau de plastique, il prélève des échantillons d'eau en profondeur pour comprendre comment les copépodes se répartissent dans les différentes couches du lac. « Le travail est plutôt monotone, dit Michael Dawson, mais au moins, il laisse le temps de réfléchir... »

Au fil des millénaires, les méduses se sont adaptées à leur nouvel environnement. Aujourd'hui, elles sont plus petites et plus pâles. Et leurs bras buccaux sont plus courts que ceux de leurs cousines océaniques. Pour le biologiste, la vitesse à laquelle les méduses ont su s'acclimater aux lacs marins – des milliers d'années – est encore plus fascinante que leur comportement. Selon des analyses génétiques, la forme océanique de *Mastigias papua* n'a pas évolué depuis au moins trois millions d'années. Ce n'est que lorsque quelques pionnières ont été entraînées dans le microcosme des lacs qu'elles ont dû faire preuve de créativité pour se développer.

A peine deux jours plus tard, à une vingtaine de kilomètres au nord-est de l'archipel, notre équipe fraie son chemin vers une autre île des Palaos, parsemée de canyons et de crêtes. Il est presque midi, l'air est moite. Chaque pas exige une extrême prudence, car le calcaire corrodé qui tapisse les sous-bois est tranchant comme une lame de rasoir. Il est tout aussi dangereux de s'agripper aux arbres, certains étant recouverts d'une écorce toxique.

Une heure plus tard, trempés de sueur, nous parvenons à notre destination : la surface de Uet era Ngermeuangel, ou « lac des grosses méduses ». Ici aussi, tout comme dans trois autres plans d'eau de l'archipel, les méduses *Mastigias* sont présentes. Une aubaine : l'équipe va pouvoir étudier le déroulement de l'évolution simultanément dans cinq laboratoires naturels des Palaos. Une nouvelle sous-espèce s'est développée dans chaque lac. Leur génotype montre

L'anémone *Entacmaea medusivora* constitue l'un des rares individus du lac à se nourrir de méduses.



**AU FIL
DES MILLÉNAIRES,
LES MÉDUSES
SE SONT ADAPTÉES
À LEUR NOUVEL
ENVIRONNEMENT.**

toutefois que toutes descendent d'un ancêtre commun, celui de *Mastigias papua*, la méduse océanique actuelle. Plusieurs vagues de migration ont dû suivre la formation des lacs marins. Les méduses seraient d'abord arrivées dans des étendues d'eau plus profondes – qui s'étaient remplies plus tôt –, avant d'en coloniser de nouvelles. Chaque forme de méduse illustre une étape de l'évolution au sein de Palaos. Uet era Ngermeuangel est le plus vieux lac marin de l'archipel. Nous le constatons en nageant vers les méduses : ces minuscules beautés qui ressemblent à des millions de perles scintillantes sont encore plus petites et plus transparentes que leurs cousines de Ongeim'l Tketau.

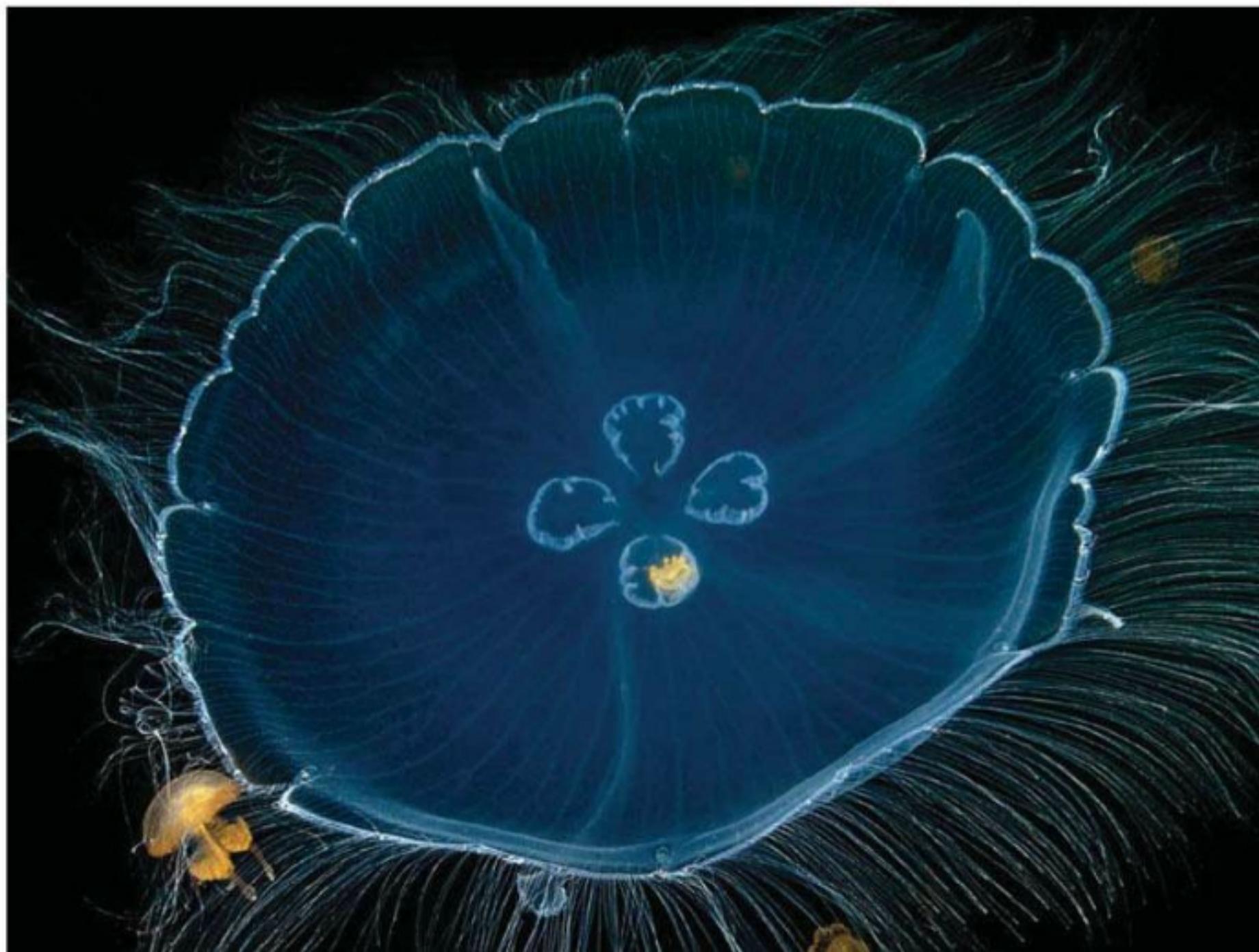


Une méduse se rapproche de la surface le jour, et descend plus profondément la nuit.



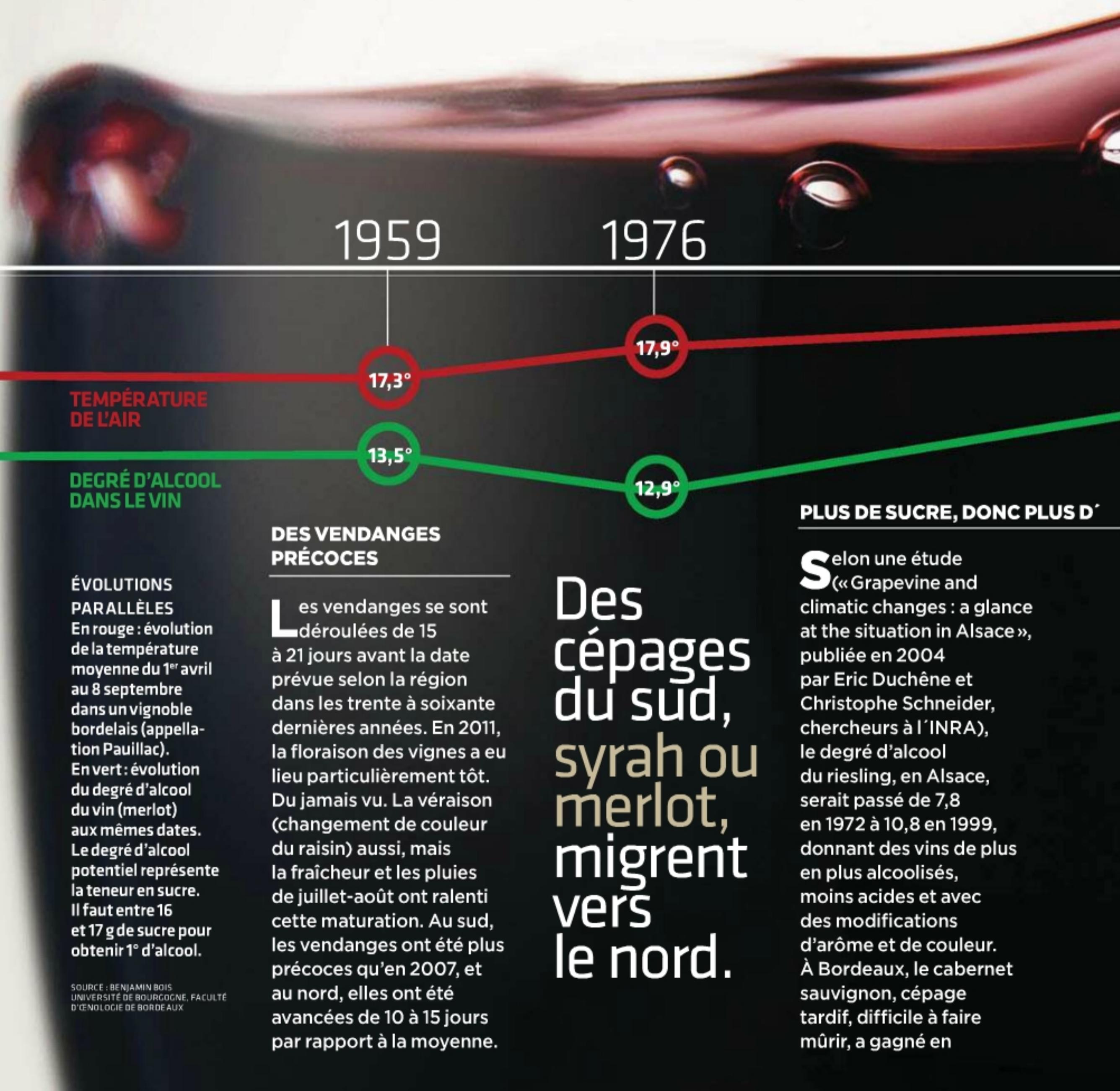
Michael Dawson et ses collègues ont découvert une grande diversité de coraux durs qui se développent dans les eaux extrêmement chaudes des lacs. Des modèles de vie futurs sont-ils en train de se développer en secret dans l'isolement de ces lieux ? Les forces de l'évolution préparent-elles les coraux durs à un bouleversement environnemental en cas de réchauffement des océans ? Pouvons-nous encore rêver à un avenir ? Dans l'archipel des Palaos, tout porte à y croire. □

Aurelia aurita, plus connue sous le nom de la méduse commune, a colonisé tous les océans.



LE TEMPS CHANGE, LES VINS

Avec la hausse de température de ces dernières années, le degré d'alcool dans le vin augmente d'environ 1° tous les dix ans. Est-ce dû au changement climatique ? Le fait est que la période des vendanges avance régulièrement...



TRINQUENT



ALCOOL

maturité et en qualité. Dans le cas du merlot, cépage lui aussi bordelais mais normalement plus précoce, on ne gagne pas forcément en qualité. Cependant, le vin est plus sucré, donc plus alcoolisé (17 g de sucre pour 1° d'alcool). Ces dernières années, le degré d'alcool se situe entre 13 et 14°, alors qu'il avoisinait les 11° au début des années 1980. En Bourgogne, des cépages comme le pinot noir connaissent une évolution similaire.

LES CHIFFRES

- 1^{er} ou 2^e producteur mondial, la France est au coude à coude avec l'Italie.
- 45,7 millions d'hectolitres produits en France en 2009.
- 3 degrés de plus pour la température mondiale sont attendus d'ici à 2100 (estimation basse) selon le Giec.

POURQUOI ?

Dans le raisin, la pulpe garde les sucres (l'alcool) et la majeure partie des acides. La peau, elle, «fait» la couleur et les arômes. Les années de forte chaleur peuvent induire une désynchronisation entre la maturité de la pulpe et celle de la peau. La chaleur fait mûrir l'intérieur du fruit avant l'extérieur. Dilemme pour les œnologues, contraints de choisir entre un niveau optimal d'alcool aux arômes moins intenses, ou un vin plus alcoolisé avec risques microbiens et vieillissement plus rapide.

TENDANCES

À u nord de la France, les spécialistes envisagent de cultiver des cépages du sud, comme le syrah, le merlot... Plus étonnant, au cours des dix dernières années, l'augmentation des températures au sud de l'Angleterre a favorisé l'amélioration de la production viticole anglaise, en particulier celle des «sparkling wines», les vins pétillants. Enfin, en Argentine, pour compenser le réchauffement, les viticulteurs ont fait remonter leurs vignobles en altitude, dans les Andes.

>LE FUTUR EN MARCHE

CE QUE NOUS PROMET **LA MÉDECINE DE DEMAIN**

QUAND LA CHASSE GARDÉE
DES MÉDECINS DEVIENT L'aire de jeu
DES BIOLOGISTES, DES INFORMATICIENS
OU DES ÉLECTRONICIENS...





RÉGÉNÉRER LES TISSUS

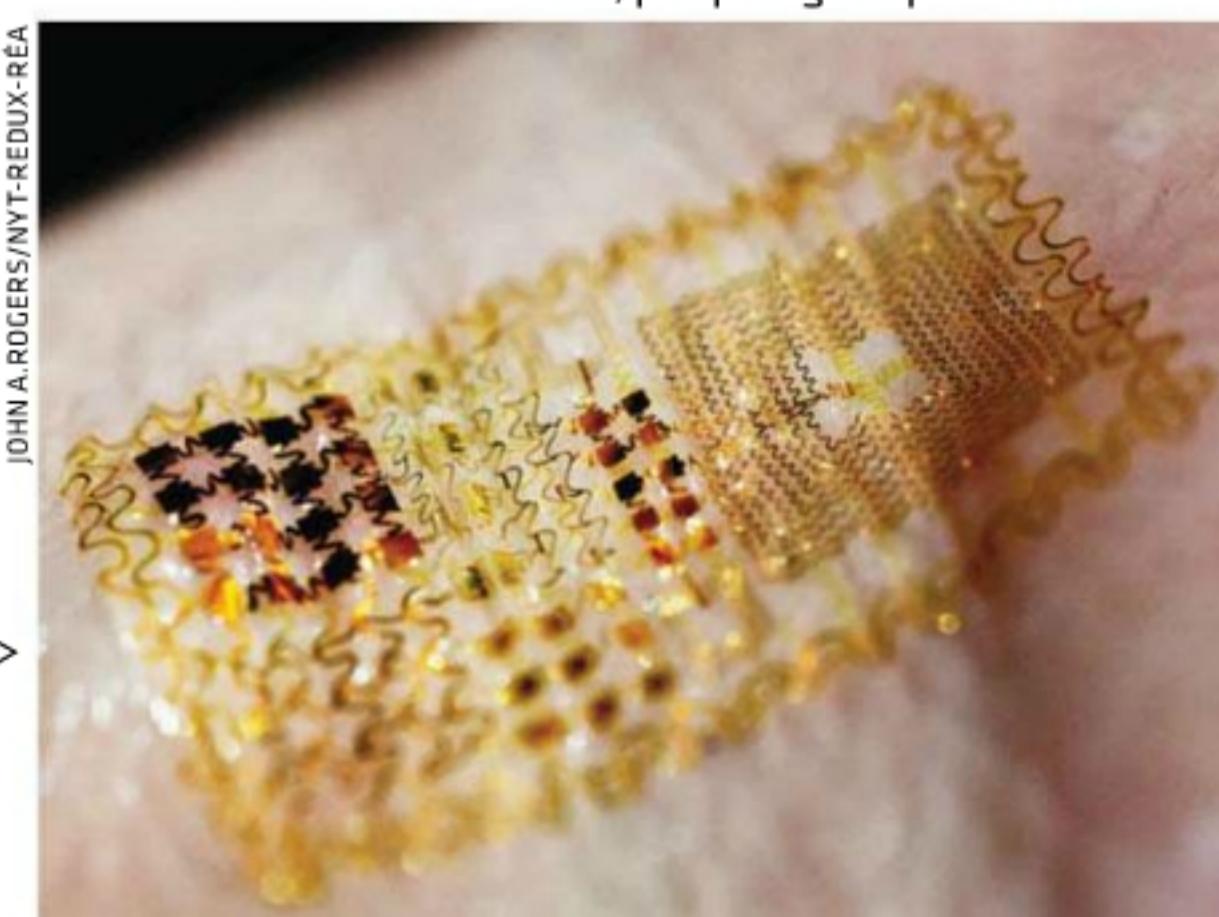
Cette oreille en formation est l'un des organes cultivés au sein du Wake Forest Institute for Regenerative Medicine. La forme de l'oreille est donnée par une matrice artificielle qui sert de support à des cellules productrices de cartilage.



urpris, un étudiant d'un institut de médecine régénérative de Caroline du Nord replace le téléphone contre son oreille et demande confirmation : « Des cheveux verts capables de photosynthèse ? » En bonne professionnelle, j'explique mes propos : « Oui, comme du gazon, mais sur la tête. Savez-vous si des chercheurs travaillent là-dessus ? » L'idée me vient d'un professeur que j'avais à l'université. Un Allemand qui s'était lancé dans l'étude des algues en pensant pouvoir sauver l'humanité – les anorexiques d'abord –, grâce à une symbiose entre l'homme et le plancton océanique : un jour, nous aurions tous les cheveux verts et nous n'aurions besoin que de soleil pour nous nourrir. À l'époque, j'avais ri : l'idée m'avait paru saugrenue. Aujourd'hui, néanmoins, j'ai comme un doute. Et si ce professeur était en fait un visionnaire ? Car depuis le début de cette enquête sur la médecine du futur, la frontière que je mettais entre l'imaginable et l'impossible a quelque peu bougé. Elle a bougé, par exemple, lorsque j'ai demandé à Yann Perrot, spécialiste de la robotique au List (Laboratoire d'intégration des systèmes et des technologies), si l'homme bionique était pour demain. Au lieu du rire escompté, j'ai obtenu ça : « Oui, bien sûr, mais soyons précis, on ne dit pas bionique, mais robotique bio-inspirée. » Idem lorsque, par bravade, j'ai interrogé l'un des grands noms de la médecine régénérative, l'Américain Anthony Atala, du Wake Forest Institute for Regenerative Medicine, pour savoir ▶

UN JOUR, NOUS
AURIONS TOUS
LES CHEVEUX
VERTS, ET NOUS
N'AURIONS
BESOIN QUE
DE SOLEIL POUR
NOUS NOURRIR.

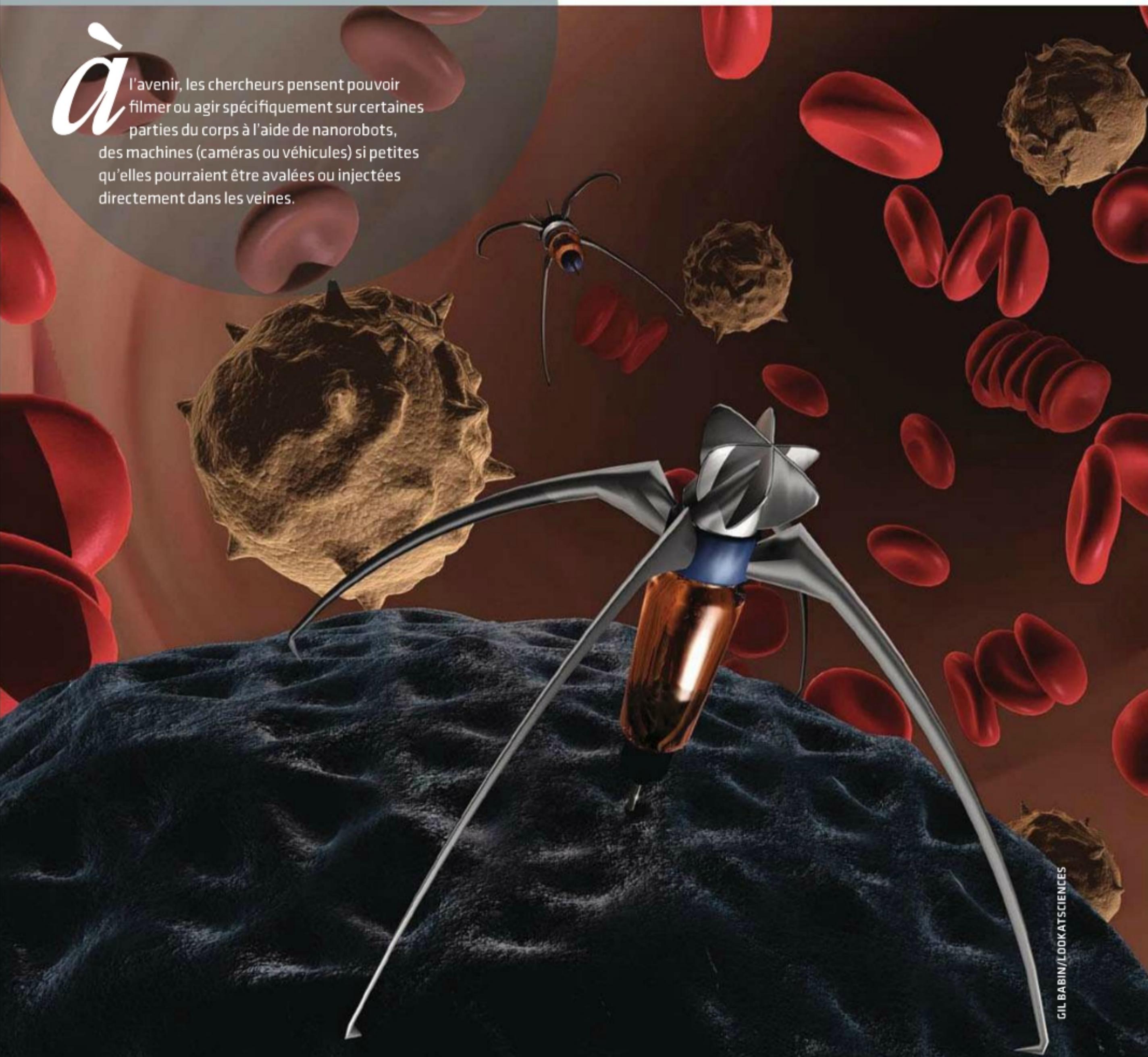
Le « thermomètre » de demain, pas plus gros qu'un timbre.



DES ROBOTS DANS LES VEINES

à

l'avenir, les chercheurs pensent pouvoir filmer ou agir spécifiquement sur certaines parties du corps à l'aide de nanorobots, des machines (caméras ou véhicules) si petites qu'elles pourraient être avalées ou injectées directement dans les veines.



GIL BABIN/LOOKATSCIENCES

Illustration d'un nanorobot, capable d'injecter une substance thérapeutique dans une cellule cible.

À QUOI RESSEMBLERA LA MÉDECINE D'ICI

VINGT ANS ? DEMAIN VERRA L'AVÈNEMENT

DU « MIEUX PRÉVOIR, MIEUX SOIGNER,

MIEUX RÉPARER ». ET CELA PASSERA PAR

L'ABANDON DE LA MÉDECINE ACTUELLE.

si, un jour, on pourrait faire repousser un bras. « Un bras, je ne sais pas... mais des doigts, sans doute. » Ajoutez à cela une banane-vaccin contre l'hépatite B, des électrodes cérébrales contre l'anorexie mentale ou des tissus humains capables de synthétiser de la vitamine C, et vous aurez, vite esquissés, les contours d'une médecine qu'à titre personnel j'aurais volontiers rangé au rayon science-fiction. À tort, semble-t-il.

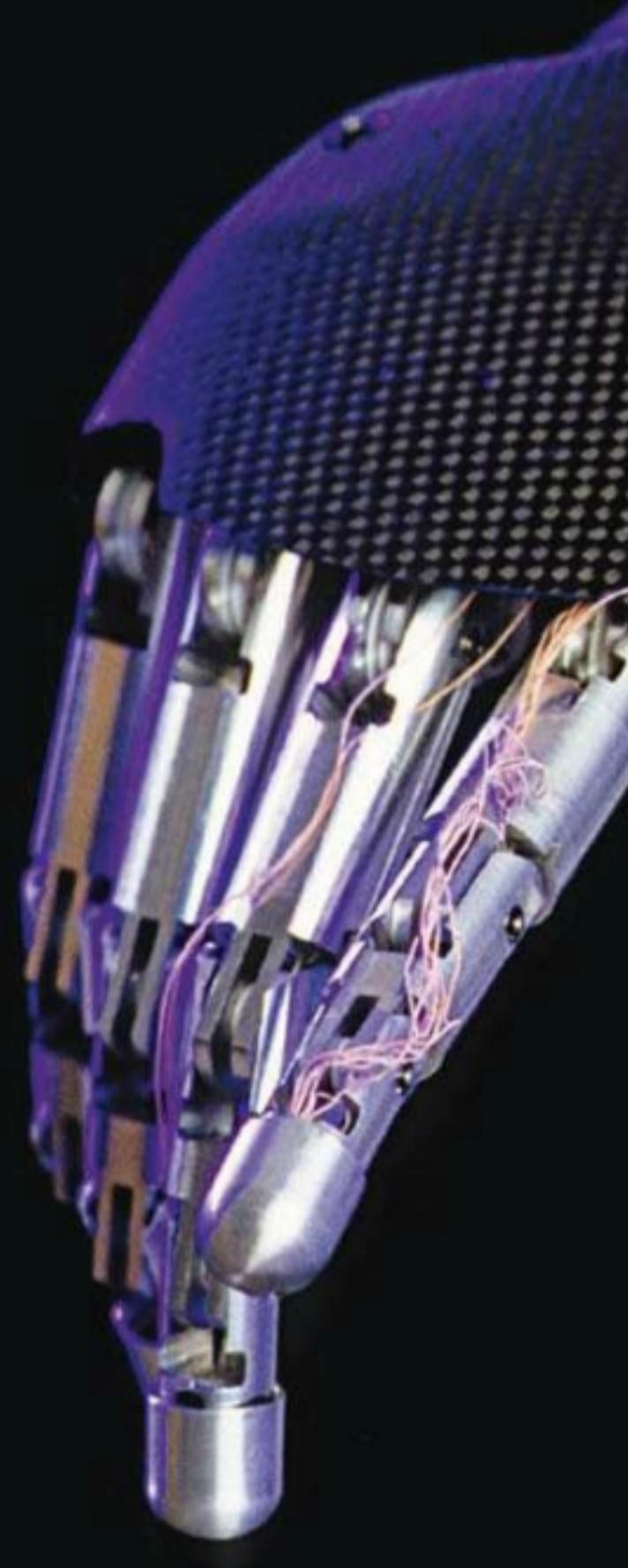
À quoi ressemblera la médecine d'ici vingt ans ? À une sorte de slogan publicitaire. Sur ce point, les experts semblent d'accord. Demain verra l'avènement du « mieux prévoir, mieux soigner, mieux réparer ». Et cela passera par l'abandon de la médecine actuelle. Celle du futur ne soignera plus les masses : elle sera personnalisée. Finie l'obsession du traitement universel !

DES MÉDICAMENTS AUX FORMES INATTENDUES

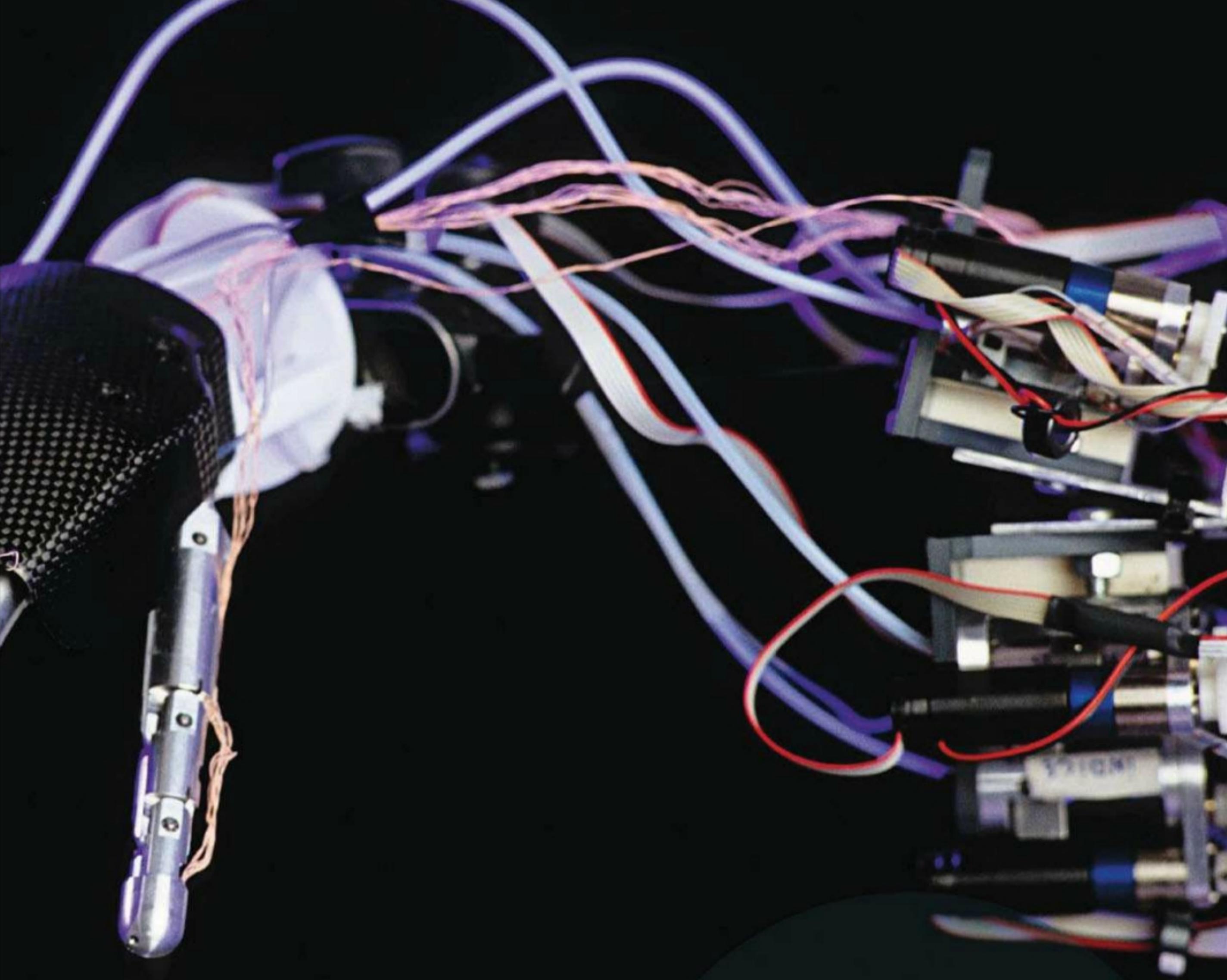
À la base de cette prédiction, un argument économique. D'après les analystes, la forte baisse du coût du séquençage de l'ADN humain – 10 millions d'euros en 2002 contre 1 000 en 2011 – rendra accessible l'information génétique de chaque individu. De là, les médecins pourront tirer des chiffres, comme celui de la probabilité de développer tel cancer ou de bien réagir à tel médicament. Puis les progrès des techniques d'imagerie médicale permettront de suivre l'effet d'un traitement en temps réel, et d'en changer si nécessaire. Le bon vieux thermomètre ne sera plus qu'une pièce de musée qui fera ricaner les enfants. Il sera remplacé par des puces médicales mesurant en continu les infimes variations de nos constantes physiologiques. Toutes ces informations seront compilées dans des bases de données gigantesques. Pour autant, la médecine de 2025 ne sera pas qu'une affaire d'octets et de boulons.

MASSIMO BREGA/LOOKATSCIENCES

La Cyberhand permet de bien sentir ce que



Car demain, assure Patrick Couvreur, biopharmacien et professeur à l'université Paris-Sud, une déferlante de nouveaux médicaments inondera le marché. Il s'en explique : « La majeure partie des substances thérapeutiques a sans doute déjà été identifiée. L'idée, aujourd'hui, n'est pas tant d'en découvrir de nouvelles que de trouver un moyen d'utiliser celles qui ont été recalées parce qu'elles induisaient des effets secondaires trop importants pour le patient. » Comment ? En les acheminant directement là où elles doivent agir, notamment via des nanovéhicules téléguidables ou pourvus de propriétés particulières. Pour résumer, c'est un peu comme si les médecins découvraient le courrier postal



L'HOMME BIONIQUE

la prothèse touche.

par avion alors que, jusque-là, ils n'avaient la possibilité que de distribuer des tracts.

Certains médicaments auront des formes inattendues, comme ces aliments-vaccins, des fruits ou des légumes transgéniques qui pourraient synthétiser une quantité suffisante d'antigènes viraux pour stimuler une réponse immunitaire. L'idée, de prime abord bizarre, a germé dans l'esprit de Charles Arntzen, chercheur et président du Boyce Thompson Institute for Plant Research (université Cornell), lors d'un voyage en Thaïlande en 1992. C'est en regardant une mère calmer son bébé avec un morceau de banane qu'il a cette révélation : le fruit pourrait être un vecteur médicamenteux intéressant. ▶

e

tsi demain handicapé rimait avec augmenté ? Pour les chercheurs, un jour, les performances des prothèses supplanteront celles de leur pendant organique, en permettant, par exemple, la vision infrarouge, une ouïe très sensible...



VO TRUNG DUNG/LOOKATSCIENCES

La lumière bleue facilite le travail des chirurgiens.

SCIENCE PHOTO LIBRARY/COSMOS

Une cellule souche vue au microscope électronique.



*d*écouvertes il y a soixante ans, les cellules souches ne sont devenues familières au grand public qu'après 1998, date à laquelle elles ont été trouvées dans les embryons humains, ce qui a suscité bien des débats éthiques. Les cellules souches sont aussi présentes dans certains tissus adultes et dans le sang du cordon ombilical.

**DES STIMULATEURS CÉRÉBRAUX
POURRAIENT AUSSI FAIRE
LEUR APPARITION. CERTAINS
SERAIENT MÊME SUSCEPTIBLES
DE TRAITER LES SYMPTÔMES
DES TOC OU DE L'ÉPILEPSIE.**

Lui qui parvenait déjà à faire produire des antigènes viraux de l'hépatite B à des plants de tabac s'est mis en devoir de faire la même chose, non pas avec des bananes, mais avec des pommes de terre. Des patates dont la consommation à l'état cru déclenche une réponse immunitaire chez des humains. Ce résultat, obtenu en 2005, démontre la faisabilité de l'approche, mais sans résoudre tous les problèmes. Car le fruit, comme le légume, a le métabolisme versatile : il produit rarement la même quantité de protéines virales, ce qui pose le problème du dosage et du contrôle sanitaire. Des stimulateurs cérébraux à implanter pourraient aussi faire leur apparition. Comme l'ont montré des

Français en 2002 et 2007, certains seraient même susceptibles de traiter les symptômes des TOC (troubles obsessionnels compulsifs) ou de l'épilepsie. D'autres, ceux de l'addiction aux drogues dures ou de l'anorexie mentale, comme tentent de le prouver, depuis 2008, des chercheurs de Shanghai. Voir des cas de dépression sévère, ainsi que le suggère, depuis 2005, une équipe de Toronto. Quoi qu'il en soit, dans le monde, 50 000 personnes atteintes de la maladie de Parkinson en sont déjà équipées. Au-delà du soin, la médecine de demain se promet de réparer le corps en fabriquant, à loisir, des pièces détachées robotisées. L'avenir de la médecine serait ainsi pavé de bonnes inventions : des yeux, des cœurs, des mains, des bras artificiels qui, à l'instar des prothèses actuelles, viendront remplacer les parties défectueuses ou manquantes du corps humain.

AUTRE PISTE : CELLE DE LA BIO-INGÉNIERIE

À Grenoble, Clinatec, un centre de recherche biomédicale doublé d'une clinique du futur, devrait ouvrir ses portes fin 2011, une équipe tentera de faire « rechercher » un individu tétraplégique à l'aide d'un exosquelette. Mi-2012, on ouvrira le crâne d'un sujet volontaire pour poser deux implants à la surface d'une zone cérébrale impliquée dans le mouvement du corps. Ces plaques tapissées d'électrodes sur leur face interne permettront de détecter l'activité d'une région du cerveau. Les signaux perçus seront envoyés à un ordinateur extérieur et analysés en temps réel pour pouvoir mettre en branle un exosquelette. À terme, une approche similaire pourrait aussi bien permettre d'actionner une prothèse robotisée que les muscles des ▷

membres paralysés. Les implants cérébraux ne serviraient alors qu'à rétablir la connexion nerveuse perdue. Autre piste, autre école, celle de la bio-ingénierie, discipline dont la vocation est de cultiver des organes avant de les greffer. De les cultiver, ou plutôt de les bricoler. Car ces organes ne poussent pas comme des fleurs dans leur fiole. Ils sont construits de façon quasi artisanale par des chercheurs, mi-faussaires, mi-peintres en tissus vivants, qui copient l'organe originel. Pour ce faire, ils commencent par prélever, chez le patient, un échantillon de l'organe à remplacer. De ce prélèvement, ils extraient, puis font croître en laboratoire les divers types cellulaires présents. Ne reste alors qu'à les utiliser pour tapisser une matrice artificielle ou organique, qui servira d'échafaudage à l'organe bioartificiel.

BIENTÔT DES POCHES DE SANG ARTIFICIEL

« En 1998, nous avons implanté chez un patient le premier organe fabriqué en laboratoire, explique Anthony Atala du Wake Forest Institute for Regenerative Medicine. Il s'agissait d'une vessie. Mais depuis, de la peau, des vaisseaux sanguins ou des trachées ont été greffés par nous ou d'autres. » L'approche fonctionne, mais elle reste fastidieuse. Huit semaines sont nécessaires pour créer une vessie bioartificielle. Et la technique ne permet pas encore de créer tous les organes, ni de remplacer ceux qu'un cancer aurait trop abîmés. Pour ces cas précis, les chercheurs ont pourtant une solution toute trouvée. Ou plutôt une piste de recherche : les cellules souches, qui peuvent être transformées en nerf, en peau, en muscle ou... en globules rouges. Elles permettraient de résoudre certains problèmes liés au vieillissement global de la population – notamment l'accroissement

TROIS DONNEURS INITIAUX

DE CELLULES SOUCHES

SERAIENT NÉCESSAIRES POUR

ALIMENTER EN SANG 99 %

DE LA POPULATION FRANÇAISE.

des besoins en sang. Des résultats obtenus à la fin de l'été 2011 montrent que ce sang artificiel peut être injecté sans encombre à un individu sain. « Du coup, explique l'hématologue Luc Douay de l'université Pierre-et-Marie-Curie, dans le cadre d'un programme appelé StemRed lancé le 1^{er} mars, nous allons poser les jalons de l'industrialisation. » Bien choisis, seuls trois donneurs initiaux de cellules souches seraient nécessaires pour alimenter en sang 99 % de la population française et couvrir tous les groupes sanguins. Le temps de créer les protocoles de fabrication à grande échelle, d'effectuer les derniers essais cliniques, et les premières poches de sang artificiel pourraient débarquer dans les hôpitaux dans moins de dix ans.

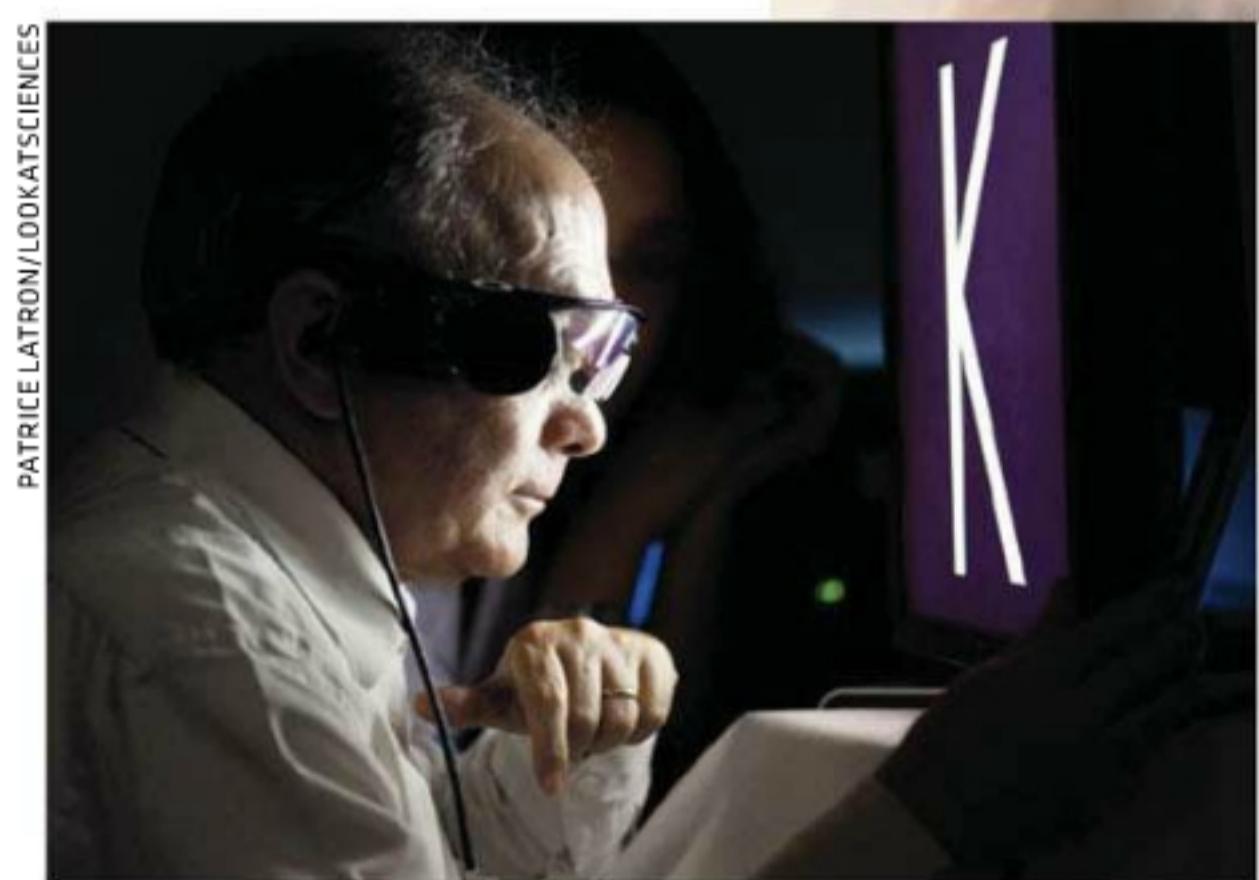
Enfin plane toujours le mythe de la régénération, celle qui permet à la salamandre de voir un membre amputé repousser. « Cette capacité de régénération existe chez ▶



PLUSIEURS FAÇONS DE VOIR

Rendre la vue aux aveugles, tel est le défi de l'œil artificiel, sachant qu'il existe presque autant de types d'œil artificiel que de maladies à l'origine de la cécité. Sur cette image, une personne non voyante apprend à utiliser un implant rétinien Argus II, en déchiffrant des lettres lumineuses. Il existe bien d'autres approches, dont celle

qui consiste à rendre la vue aux aveugles ayant le nerf optique endommagé. L'idée, alors, est d'envoyer l'information recueillie par la caméra à un implant qui serait posé au niveau du cortex visuel, la région du cerveau qui traite ce type de données. Des études sur cette approche seront bientôt lancées à Clinatec, à Grenoble.



Un non-voyant apprend à utiliser l'implant rétinien Argus II.

PATRICE LATRON/LOOKATSCIENCES



MÉDECINE MILLIMÉTRÉE

*U*ne voie importante de recherche vise à la miniaturisation des « laboratoires sur puce ». À terme, l'idée est de créer un dispositif capable de mesurer une donnée physiologique (par exemple, le taux de sucre dans le sang), et de délivrer, en fonction, la bonne quantité de la substance appropriée (dans ce cas, l'insuline...).

Injection de sang dans un « laboratoire sur puce ».

> LE FUTUR EN MARCHE

l'homme, puisque nous renouvelons en continu nos os ou notre peau, explique Michel Pucéat, de l'équipe cellules souches et cardiogenèse de l'Inserm. Mais elle disparaît dans certains organes (cœur, cerveau...), ou quand, suite à une lésion, une cicatrice se forme, empêchant la repousse. » Une réalité que les chercheurs tentent de changer, soit en bloquant la formation de la cicatrice, soit en injectant des cellules souches sur les régions lésées. Et dans cette deuxième approche, une brèche nouvelle s'est ouverte en 2006, avec une découverte inattendue : les cellules adultes peuvent, comme les cellules souches, changer d'identité. De quoi imaginer guérir un patient avec ses propres cellules. Et faire passer de vie à trépas le concept du rejet de greffe. « Il s'agit d'une théorie, pondère Michel Pucéat. Des travaux récents suggèrent que ces cellules reprogrammées, dites iPS (cellules souches pluripotentes induites), perdent leur identité immunitaire et engendrent un rejet. De plus, 1 % seulement des cellules d'un tissu répondent à la reprogrammation. On est donc loin d'avoir compris le mécanisme impliqué. » Un aveu d'ignorance partagé par nombre de chercheurs, et qui dépasse largement le cadre des cellules « iPS ».

« GOUVERNEMENT, C'EST PRÉVOIR »

« En thérapie génique, par exemple, on cherche à corriger les défauts du génome en injectant, à l'aide de virus, des portions de gènes dans les cellules, explique Didier Raoult, spécialiste des virus à la faculté de médecine de la Timone, à Marseille. Pourtant, on comprend mal le fonctionnement des vecteurs utilisés : les virus. Depuis quelques années, on s'aperçoit qu'ils interagissent entre eux ou qu'ils sont présents dans des endroits inattendus. Bref, il nous faut être prudents. » Idem pour cette conviction, déjà ancienne, que nos atouts et faiblesses sont tous inscrits dans nos gènes. « Ce n'est pas parce qu'un gène est présent dans l'ADN qu'il s'exprime, s'agace le philosophe Philippe Descamps, du CNRS. Rien ne permet d'affirmer que l'accès à l'intégralité du génome des patients présentera un réel intérêt pour le diagnostic. » Des nuances au chevet desquelles se trouve cette question : combien des prédictions faites dans cet article se réaliseront ? « La réponse n'est pas seulement

LA FIN DES MODÉLISATIONS

d

emain disparaîtront les prédictions épidémiologiques modélisant la propagation d'une maladie au sein d'une population, celles-là même qui ont annoncé les hécatombes de la vache folle ou de la grippe porcine. Les spécialistes admettent en savoir peu sur les virus, pas assez en tout cas pour prévoir l'avenir. Un constat qui rend abscontes les prévisions.

scientifique, répond Alim-Louis Benabid, directeur scientifique de Clinatec. Elle dépend aussi de décisions politiques, d'une volonté de créer une médecine pour tous ou pour une élite... Et il y a fort à parier que des découvertes inattendues viendront court-circuiter toutes nos prévisions. » Émile de Girardin proclamait que « gouverner, c'est prévoir ». Henri Bergson répliquait que « prévoir consiste à projeter dans l'avenir ce qu'on a perçu dans le passé ». Or le passé ne cesse de changer ! La preuve : à l'autre bout du monde et du fil, l'étudiant a fini de réfléchir. « Du gazon sur la tête, vous dites ? Je vais me renseigner. » Il y a dix ans, une personne sensée aurait ri face à une telle question. Aujourd'hui, elle vérifie. À croire qu'entre l'insensé et le possible, il n'y a qu'un peu de temps. □

► À LIRE

Médecine : objectif 2035. Sous la direction de Paul Benkimoun - Éd. L'Archipel, 2008.

► À CLIQUER

http://www.ted.com/talks/anthony_atala_growing_organisms_engineering_tissue.html

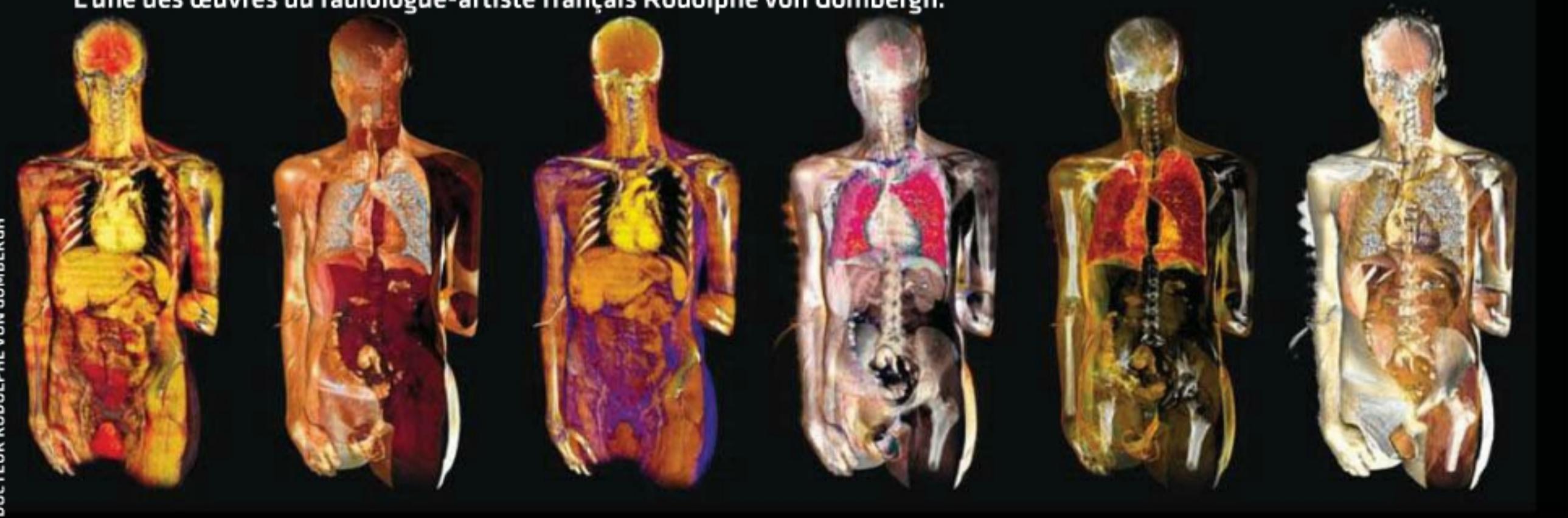
Anthony Atala parle de la culture des organes.

« RIEN NE PERMET D'AFFIRMER QUE L'ACCÈS À L'INTÉGRALITÉ DU GÉNOME

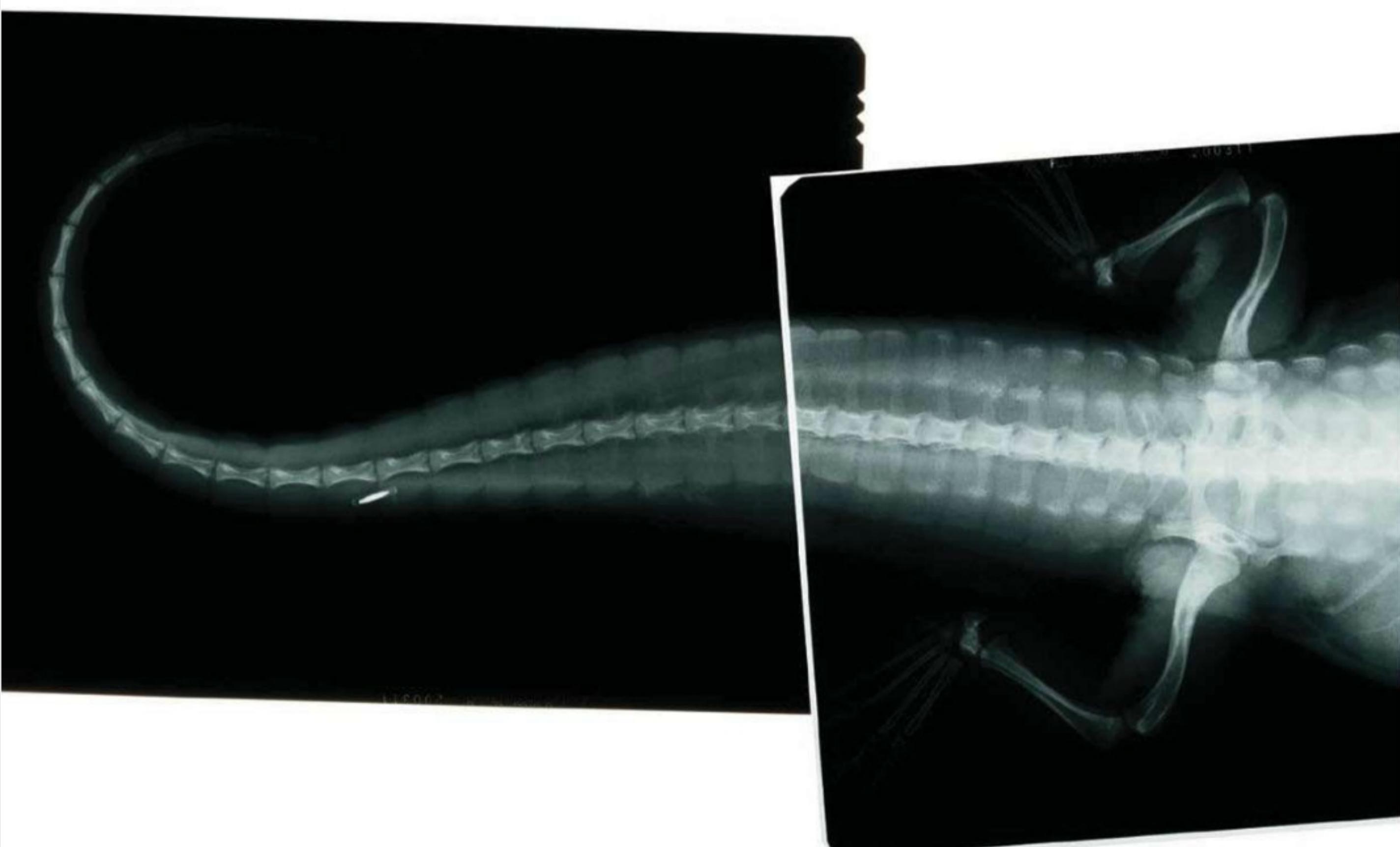
DES PATIENTS PRÉSENTERA UN RÉEL INTÉRÊT POUR LE DIAGNOSTIC. »



L'une des œuvres du radiologue-artiste français Rodolphe von Gombergh.



>RADIOGRAPHIE DE L'ÉVOLUTION

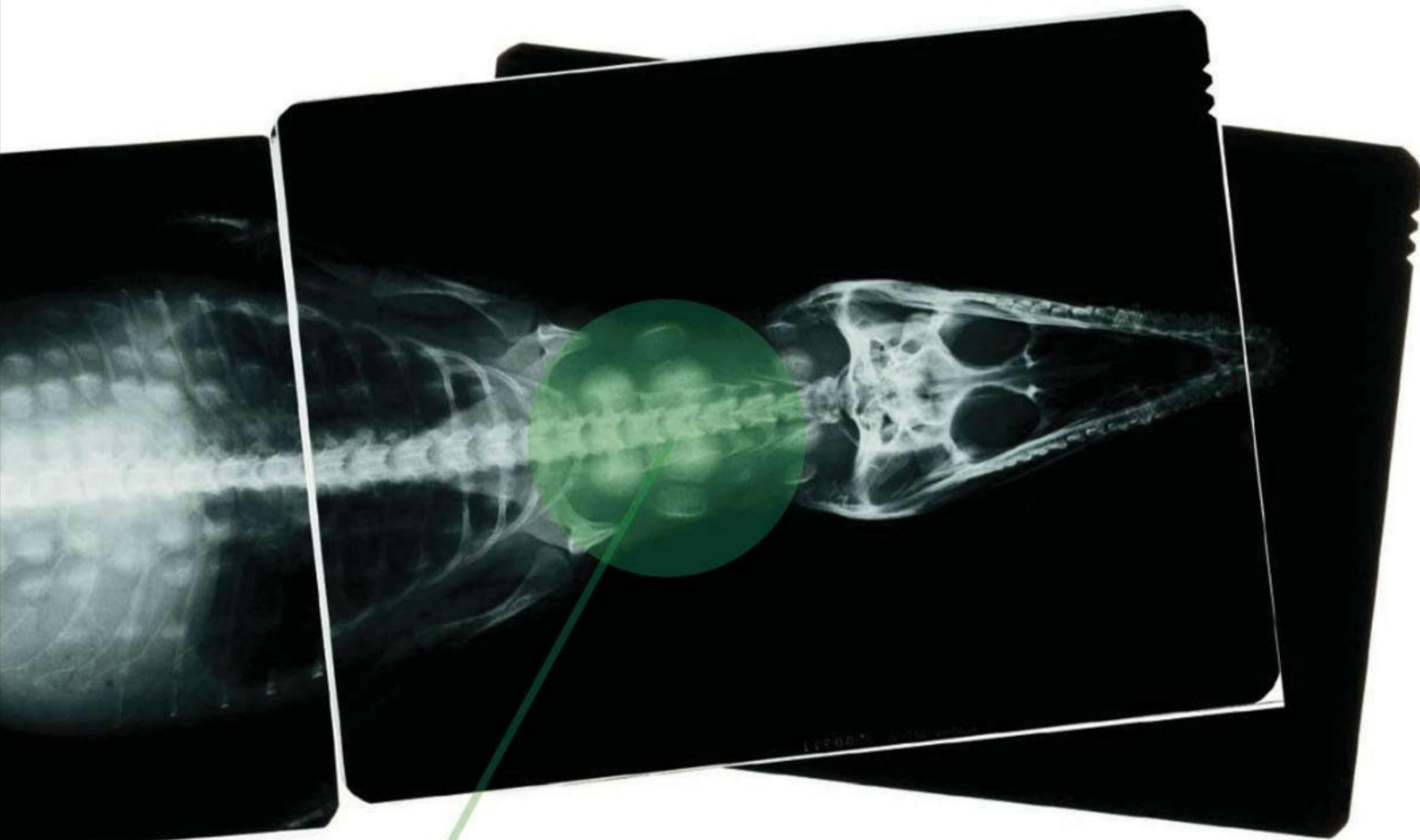


CROCODILES MACHINES À REM

Deux scientifiques se sont penchés sur la morphologie des crocodiles du Nil pour raconter l'histoire de leurs lointains ancêtres, les stégocéphales.

PAR CLAIRE LECOEUVRE
PHOTOS PASCAL GOETGHELUCK ILLUSTRATIONS MARC BOULAY

LE LOURD CORPS grisâtre reste inerte sur le sol rouge. Seul son dos écaillé se soulève régulièrement, au rythme lent de la respiration. Dans la jungle bruissante de La Ferme aux crocodiles de Pierrelatte (Drôme), celui du Nil (*Crocodylus niloticus*) passerait presque pour un fossile. Apparus à la même époque que les dinosaures, il y a 210 millions d'années environ, les crocodiles conservent des caractéristiques physiques très anciennes. Si anciennes même qu'elles pourraient nous renseigner sur le mode de vie de certains ancêtres, bien plus lointains encore. En 2003, la découverte d'un fossile d'amphibien archaïque attire l'attention de Jean-Sébastien Steyer, du CNRS et du Muséum national d'histoire



ONTER LE TEMPS

La preuve en images

Sur le dos de ce jeune crocodile du Nil, les écailles et les plaques osseuses transparaissent sous la forme de taches blanches. Témoignage d'un passé lointain.



naturelle (MNHN). Après étude, le paléontologue est formel : le fossile appartient aux stégocéphales, un groupe présent sur la Terre entre la fin du Dévonien (370 millions d'années) et le milieu du Crétacé (100 millions). Or, remarque-t-il, l'animal était lui aussi recouvert d'ostéodermes, formés d'écailles et de plaques osseuses. Tout comme les crocodiles du Nil étudiés à La Ferme de Pierrelatte, dans la Drôme. Comment ces structures ont-elles évolué en quelque 370 millions d'années ? Quel est leur rôle aujourd'hui ? Pour Jean-Sébastien Steyer et Vivian de Buffrénil, chercheurs au MNHN, comprendre le fonctionnement des ostéodermes actuels permettrait d'expliquer l'éologie des stégocéphales, et leur évolution. La Ferme de Pierrelatte est une aubaine pour ces deux scientifiques : ▶

>RADIOGRAPHIE DE L'ÉVOLUTION

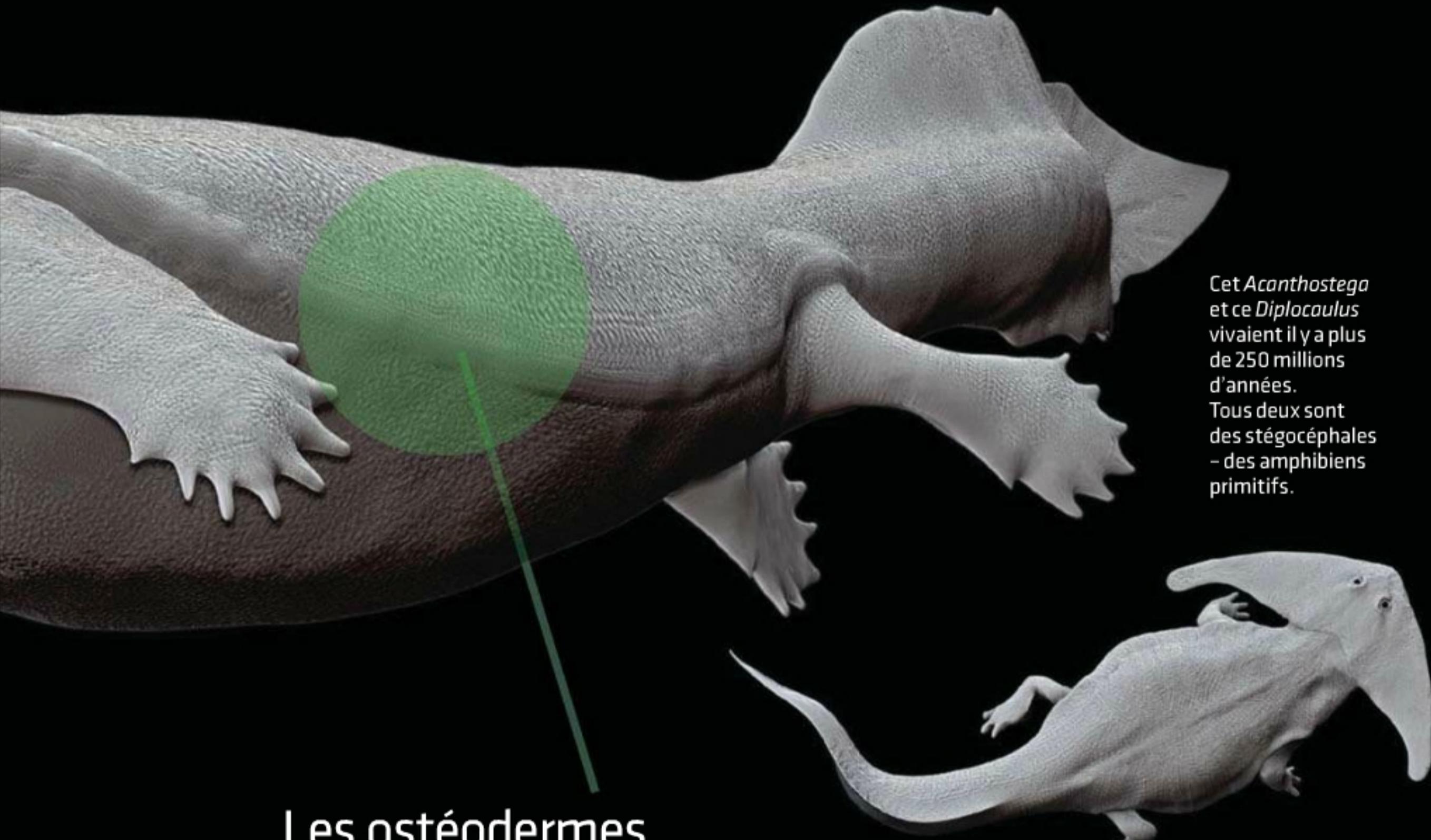


SI L'ANIMAL
SAIT ÊTRE RAPIDE,
C'EST PARCE QUE
LE RESTE DU TEMPS
IL **ÉCONOMISE**
SON ÉNERGIE...



Imaginée par le paléontologue Jean-Sébastien Steyer, cette néo-mangrove du futur, peuplée d'arbres gigantesques, pourrait abriter les crocodiles d'ici dix millions d'années.

l'observation de ses hôtes les aide à reconstituer le mode de vie de ces amphibiens primitifs. Vivian de Buffrénil lance, ironique : « Finalement, ce sont de gros fainéants. » Comme pour le contredire, un crocodile jaillit hors de l'eau, attrapant l'un de ses congénères entre ses mâchoires puissantes. Mais si l'animal sait être rapide, c'est justement parce que le reste du temps il économise son énergie. Ecto-poikilotherme, son organisme ne produit aucune chaleur et sa température corporelle varie en fonction des conditions climatiques. Les ostéodermes participeraient-ils à la régulation de sa température ? Vivian de Buffrénil espère vérifier cette hypothèse en radiographiant plusieurs spécimens. Cet après-midi, un jeune crocodile du Nil étale ses 70 cm sur la table. À



Cet *Acanthostega* et ce *Diplocaulus* vivaient il y a plus de 250 millions d'années. Tous deux sont des stégocéphales – des amphibiens primitifs.

Les ostéodermes, régulateurs de température ?

Les écailles (peu visibles ici) et les plaques osseuses recouvraient le dos des stégocéphales. Ces structures auraient permis à ces animaux à sang froid de s'adapter aux conditions climatiques.

seulement 24 mois, il a déjà subi deux autres examens. Objectif: observer la façon dont les fameux ostéodermes se constituent au fil de sa croissance. Sur le cliché, le corps de l'animal apparaît en transparence. Les taches blanches révèlent la présence de calcium, la partie dure de l'ostéoderme. Mais la radio ne suffit pas. Un prélèvement de cette structure met en évidence les différentes couches de calcium qui la constituent. Et son scanner révèle un réseau très vascularisé. Celui-ci se densifie au fur et à mesure qu'il descend dans les couches inférieures de l'ostéoderme. Selon Vivian de Buffrénil, «grâce à ces vaisseaux très nombreux, le sang se réchauffe “en surface” avant de circuler à l'intérieur du corps ». Les ostéodermes pourraient donc bien servir de régulateur thermique.

« Tout comme ils ont dû le faire chez les stégocéphales », affirme Jean-Sébastien Steyer. Selon lui, le rôle de ces structures est resté le même. D'après l'étude de leurs fossiles, aucun autre élément de leur physiologie ne permettait de résister aux variations du climat. Cette comparaison étaie une autre hypothèse des chercheurs :

l'habitat de ces amphibiens anciens ressemblait aux marais actuels. Un milieu moins touché par les changements de température.

Après avoir étudié le passé, le paléontologue a eu une nouvelle idée : envisager le “futur crocodilien”. « Une sorte de fiction-science », explique-t-il. Les crocodiliens actuels comme les gavials, déjà menacés, disparaîtraient. Seul survivrait le crocodile du Nil, en se réappropriant le milieu côtier et marin. Le chercheur se base sur des modèles évolutifs pour déterminer leur physionomie, ainsi que les milieux dans lesquels ils vivront dans dix millions d'années.

Marc Boulay, sculpteur numérique spécialiste de la 3D, a modélisé ces nouveaux animaux dans leur environnement. Selon ce scénario, les énormes corps immobiles de Pierrelatte ont un long avenir devant eux. Le crocodile du Nil fait bien de conserver ses forces. □



Un gobe-mouches de Vénus se ferme en 1/10^e de seconde, dès que sa proie déclenche le signal : un contact avec deux de ses minuscules poils ou deux contacts avec le même.

PLANTES CARNIVORES Attraction Fatale

Elles attirent les insectes dans des pièges mortels et se gavent de leur chair. Est-ce un comportement digne d'une plante ?

PAR CARL ZIMMER PHOTOGRAPHIES DE HELENE SCHMITZ



UNE MOUCHE AFFAMÉE se pose sur le coussinet charnu d'une feuille et prend une petite gorgée du liquide sucré qui en suinte. D'un coup, les deux lobes de la feuille se rapprochent, l'enserrent. Le piège s'est refermé. Des épines menaçantes se sont entrelacées au-dessus de la proie, comme les dents d'une mâchoire. Déjà, la feuille libère des enzymes qui rongent ses viscères. L'insecte a connu l'indignité suprême pour un animal : se faire tuer par une plante.

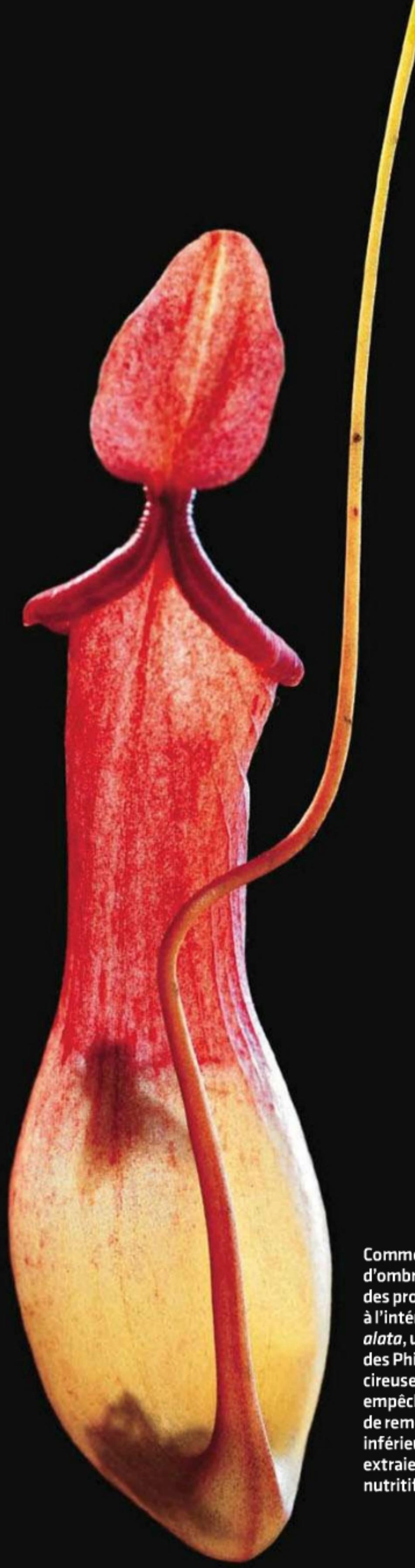
Le gobe-mouches de Vénus, plus communément appelé dionée, est originaire de la savane marécageuse plantée de pins de Caroline du Nord. Tout comme d'autres espèces plus répandues, moins connues mais non moins bizarres. Les plantes à urnes (Népenthès), par exemple, dont les feuilles constituent de véritables entonnoirs aux parois glissantes où les insectes (et parfois de plus gros animaux) tombent et meurent. Ou les droseras, aux tentacules collants, qui étreignent leurs victimes. Plantes aquatiques, les utriculaires gobent leurs proies tels des aspirateurs sous-marins.

QUOI DE PLUS TROUBLANT qu'une plante se régalaient d'animaux ? Carl von Linné, le père de la classification des espèces, s'insurgeait contre cette idée qui, selon lui, allait « à l'encontre de l'ordre de la nature tel que Dieu l'a souhaité ». Pour lui, les végétaux n'attrapaient des insectes qu'accidentellement. Charles Darwin, lui, se passionna pour les plantes carnivores. Pendant des mois, il mena des expériences sur le mode de capture des droseras, en faisant tomber des mouches sur leurs feuilles. Il s'émerveillait de voir que le poids d'un seul cheveu humain suffisait à déclencher une réaction. « Il me semble que pratiquement aucun fait plus remarquable que celui-ci n'a été observé dans le règne végétal », écrivit-il. Darwin élargit son étude à d'autres espèces, et publia ses résultats dans un livre en 1875. Ainsi, il compara le mouvement de détente extrêmement rapide avec laquelle la dionée se saisit de sa victime – un dixième de seconde – avec la contraction musculaire des animaux. Mais les plantes n'ont ni muscles ni nerfs. Comment peuvent-elles réagir comme des animaux ? ▶

Les plantes n'ont ni muscles ni nerfs. Comment peuvent-elles réagir comme des animaux ?



Les feuilles de *Drosera regia* ou Rossolis royal d'Afrique du Sud peuvent atteindre 60 cm de long. Toutefois, leurs tentacules collants manquent d'efficacité.



Comme dans un théâtre d'ombres, les silhouettes des proies se dessinent à l'intérieur de *Nepenthes alata*, une plante à urnes des Philippines. La surface cireuse du tube rouge empêche les insectes de remonter. Dans la partie inférieure, des enzymes extraient les éléments nutritifs des proies.

AU XIX^E SIÈCLE, les biologistes commencent à comprendre comment ces plantes chassent, mangent et digèrent... et comment ces étranges adaptations sont peu à peu apparues.

Alexander G. Volkov, physiologiste à l'université d'Oakwood, en Alabama, a découvert le secret de la dionée : « C'est une plante électrique », assure-t-il. Lorsqu'un insecte frôle un poil de la feuille d'une dionée, il déclenche une minuscule charge électrique, insuffisante pourtant pour entraîner la fermeture du piège – ce qui permet à la plante de ne pas réagir à une pluie, par exemple.

Mais en bougeant, l'insecte risque fort d'effleurer un deuxième poil. Cette fois, la charge électrique descend dans les feuilles, le long de tunnels emplis de fluide, ouvrant les pores des membranes cellulaires. De l'eau transite alors de leurs cellules intérieures vers leurs cellules extérieures, les faisant passer d'une forme convexe à une forme concave, comme des lentilles de contact. En s'incurvant, les feuilles se referment et s'emparent de l'insecte.

Les utriculaires ont une façon tout aussi raffinée de tendre leur piège sous-marin. Elles aspirent de l'eau grâce à de minuscules vésicules, ce qui fait baisser leur pression interne. Quand un intrus nage dans les parages, elles replient leurs poils déclencheurs, permettant l'ouverture d'une trappe. La dépression aspire l'eau... et l'animal avec. En un cinquantième de seconde, la porte se referme brusquement. Les cellules de la vésicule recommencent alors à absorber l'eau, créant un nouveau vide.

ENOMBREUSES AUTRES ESPÈCES de plantes carnivores se comportent comme du papier tue-mouche, engluant les proies sur leurs tentacules. Les plantes à urnes, elles, emploient une autre stratégie. À Bornéo, *Nepenthes rafflesiana* forme une surface lisse et produit un nectar qui attire les insectes. Ceux qui se posent sur le bord de l'urne glissent sur le liquide et dégringolent à l'intérieur. Si une mouche tente de s'échapper, le fluide digestif visqueux la retient aussi fermement qu'un élastique. Yoël Forterre, de l'Institut des systèmes thermiques et industriels de Marseille, a travaillé avec Laurence Gaume, du CNRS de Montpellier, sur ce liquide digestif : « Ce sont de très grands polymères qui rendent le liquide viscoélastique, détaille-t-il. Inconnus jusqu'alors, ils intéressent beaucoup les chimistes. »

Pour pénétrer l'exosquelette des insectes et digérer leur proie, la plupart des plantes carnivores sont dotées de glandes spéciales qui sécrètent de puissants enzymes. Mais ce n'est pas toujours le cas. Ainsi en est-il de la sarracénie pourpre, qui pousse

La dépression aspire l'eau... et l'animal avec. La porte se referme.



Les insectes assoiffés sont attirés par ce qu'ils prennent pour des gouttes de rosée sur les tentacules de *Drosophila stoloniifera*. Pris au piège, ils se retrouvent englués.

dans les tourbières et les sols sableux infertiles en Amérique du Nord. Elle fait appel à des larves de moustiques, des moucherons, des protozoaires et des bactéries pour rendre sa nourriture digeste. Les animaux déchirent la proie tombée dans l'urne, tandis que les plus petits organismes se nourrissent des résidus. La sarracénie n'a alors plus qu'à absorber les éléments nutritifs libérés. « La présence d'animaux crée une chaîne de transformation qui accélère toutes les réactions, observe Nicholas Gotelli, de l'université du Vermont. Puis, la plante remet de l'oxygène dans l'urne pour les insectes. C'est une chaîne d'asservissement stricte. » ▶



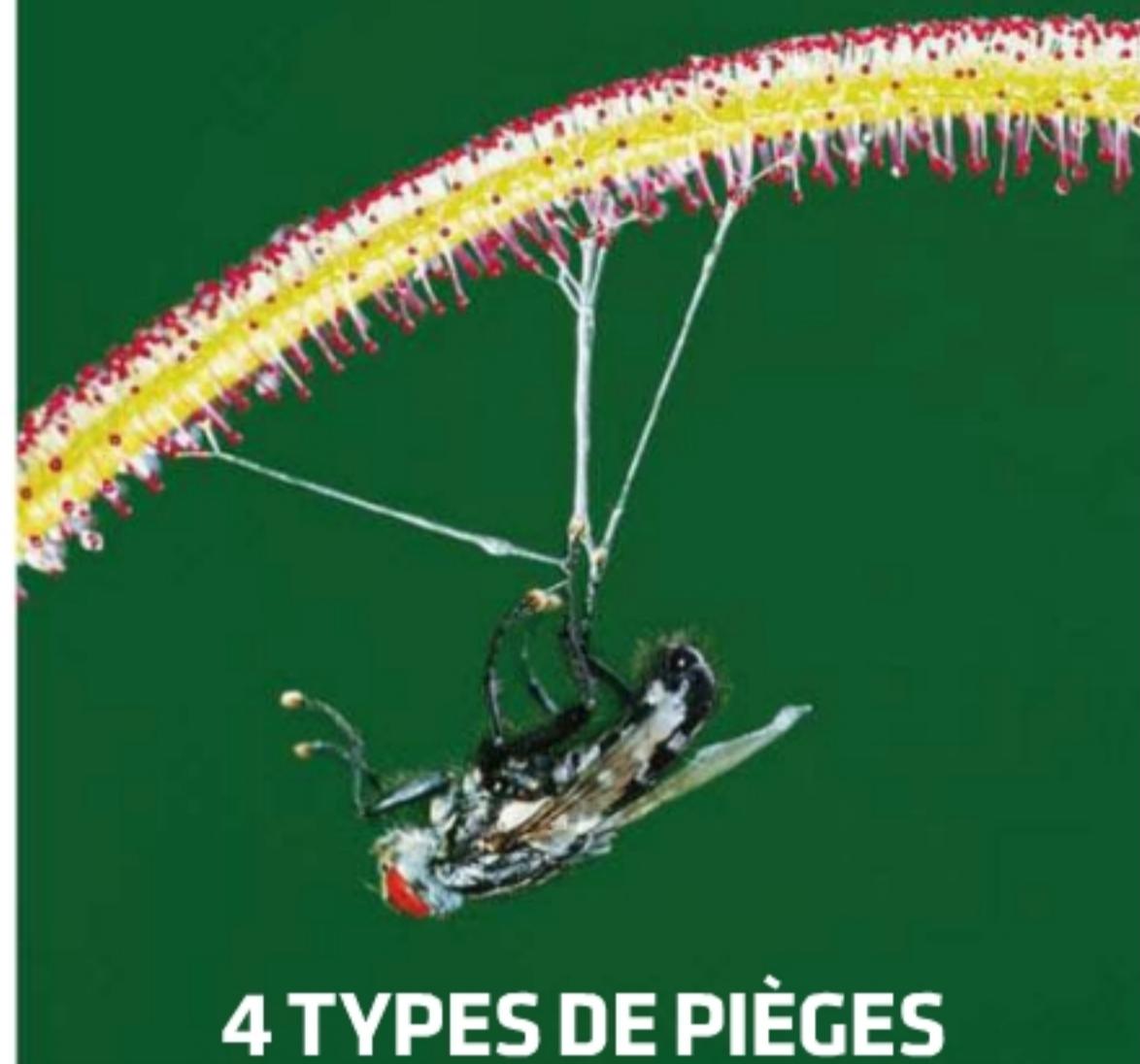
Dévinant la présence de nourriture, un cafard regarde à l'intérieur de *Sarracenia flava*, une plante à urnes de 60 cm de haut.



Cette plante à urnes
de l'ouest de l'Australie
a un penchant pour
les insectes rampants.
Toutefois, même
les guêpes peuvent
s'y faire prendre.

Le trafic illégal de plantes carnivores est florissant.

La mouche sortira blessée du piège de la *Drosera regia*.

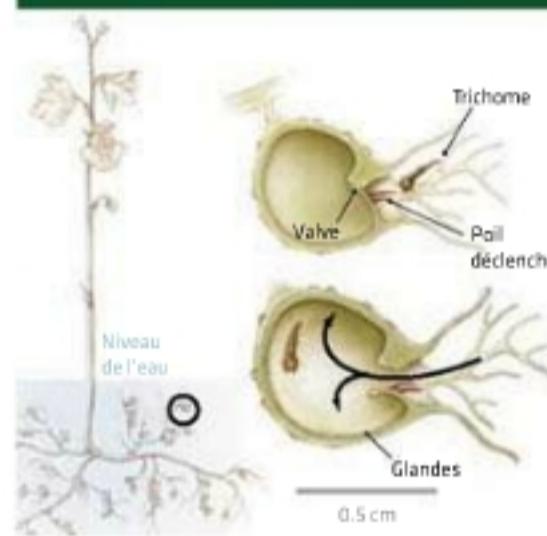


4 TYPES DE PIÈGES

QUELLES FORCES de l'évolution ont donc poussé ces végétaux à aimer la viande ? Quand les scientifiques donnent aux plantes à urnes plus d'insectes à manger, celles-ci profitent et grandissent. Les animaux carnivores utilisent les protéines et la graisse animale pour former des muscles et stocker de l'énergie. Les plantes carnivores, elles, se servent de l'azote, du phosphore et d'autres éléments nutritifs provenant de leurs proies pour créer des enzymes capables d'absorber la lumière. Ainsi, en mangeant des animaux, elles font comme toutes les autres plantes : elles croissent grâce à l'énergie solaire.

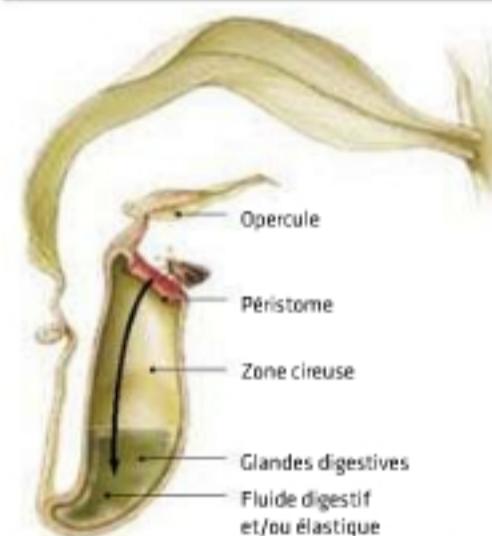
Dans un sol marécageux pauvre en azote et en phosphore mais baigné de soleil, une plante carnivore, même peu douée pour la photosynthèse, est donc avantagée par rapport aux espèces végétales qui obtiennent ces nutriments de façon plus classique. L'évolution a d'ailleurs effectué ce type de compromis à maintes reprises. En étudiant l'ADN des plantes carnivores, les chercheurs ont découvert qu'elles ont évolué indépendamment en au moins six occasions distinctes.

MALHEUREUSEMENT, les adaptations permettant aux plantes carnivores de s'épanouir dans des habitats marginaux rendent ces dernières très sensibles aux modifications de l'environnement. Le ruissellement agricole augmente le taux d'azote dans de nombreuses tourbières et « grille » leurs systèmes. Par ailleurs, le trafic illégal de plantes carnivores exotiques est florissant. Enfin, leur habitat disparaît progressivement pour laisser la place à des habitations. La raréfaction des incendies permet à d'autres espèces végétales de pousser rapidement, supplantant ainsi les dionées et, à plus large échelle, l'ensemble des plantes carnivores. C'est peut-être une bonne nouvelle pour les mouches... mais une mauvaise pour tous ceux qui admirent l'incroyable créativité de l'évolution. □



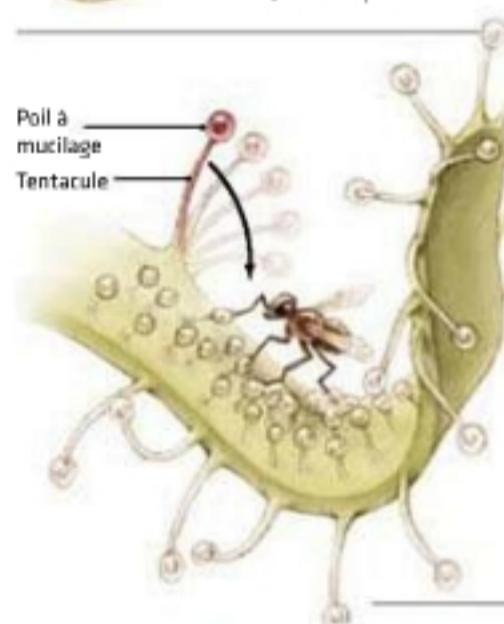
1. PAR SUCCION

Utriculaires
Des trichomes sur les vésicules guident la proie vers un piège qui l'aspire. Des glandes absorbent les nutriments et évacuent l'eau.



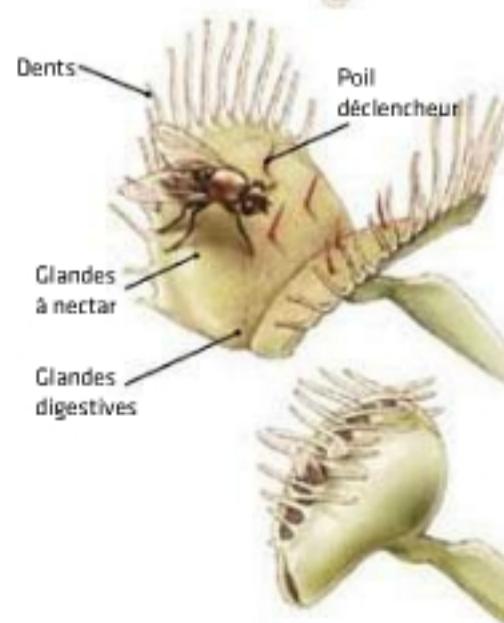
2. À LA TRAPPE

Népenthès
Le nectar sécrété sur le péristome et le pourtour glissant attire les insectes. La proie perd pied et se noie dans une mare de sucs digestifs.



3. PAR ENGLUAGE

Droseras
En se débattant sur les tentacules brillant d'un gel collant, la proie en stimule d'autres, qui se replient sur elle et la couvrent d'enzymes digestives.



4. D'UN COUP SEC

Dionées
1/10^e de seconde suffit à piéger la mouche. Les dents se resserrent alors. S'ensuivent dix jours d'une lente digestion enzymatique.

>LE CHIFFRE

600 INDIVIDUS DANS UN

Combien d'animaux peut contenir un cube de 30 cm³ d'eau du récif de Moorea, en Polynésie ?

Plonger une structure dans le Pacifique pour observer les animaux qui vivent ou traversent l'espace ainsi délimité : tel est le défi que s'est lancé le photographe David Liittschwager. Pour approfondir son travail, il s'est fait aider par les scientifiques du projet Moorea Biocode, qui inventoriaient les espèces de plus de 1 mm.

LES CHERCHEURS ont séquencé l'ADN de la récolte, pour attribuer un identifiant à chaque espèce. « Ce qui permettra d'étudier l'écosystème autrement », dit Chris Meyer, zoologue à la Smithsonian Institution (États-Unis). Cette étude n'est qu'un reflet de la diversité du récif. Beaucoup d'animaux s'enfuient durant l'échantillonnage et, « si on déplaçait la structure de un mètre ou deux, un tiers des espèces prélevées pourraient être différentes ».



PHOTOGRAPHIES DE DAVID LIITTSCHWAGER



À MOOREA, LA COLLECTE FUT variée (ci-dessus). Un sargent major à tache noire, *Abudefduf sordidus* (à gauche), de 15,24 cm, passe près de l'armature.

3 semaines ont été nécessaires pour recenser l'ensemble des « habitants » du cube. Toutes

les espèces assez grandes pour être saisies avec les plus petites pinces à épiler ont ainsi été observées, comptées et photographiées.

AQUARIUM CORALLIEN



CETTE GALATHÉE DE 1,27 CM

de diamètre - pattes comprises - fait partie des organismes ayant transité dans les 30 cm³ d'eau délimités par la structure.

COMME CETTE ÉTOILE DE MER, LE RÉCIF SE DÉVELOPPE MIEUX

dans une eau propre, inondée de soleil et sans sédiments. Du plancton et des dizaines de milliers d'organismes

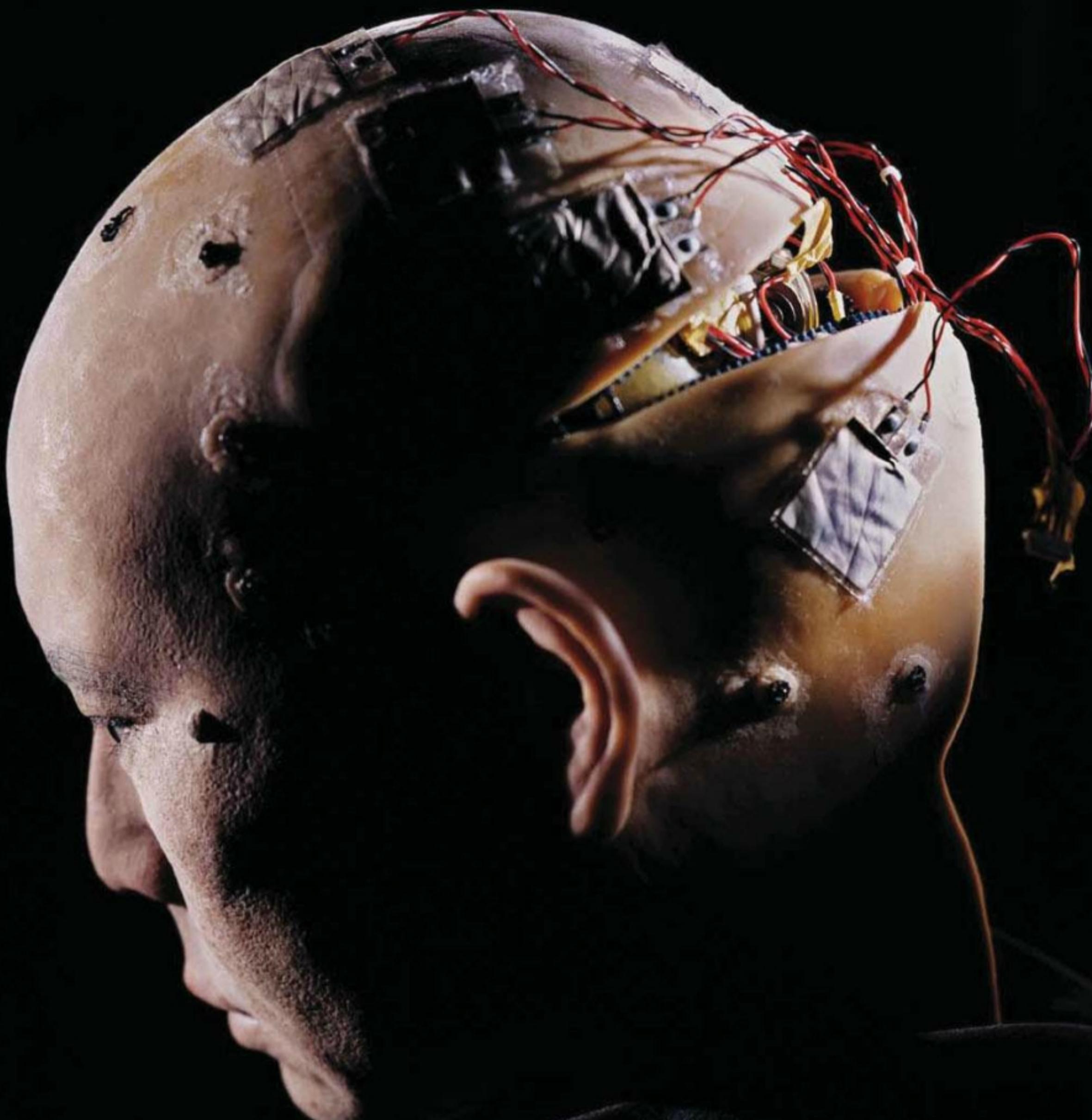
partagent aussi ce superbe écosystème. « Ils me font l'effet de pierres précieuses », s'amuse David Liittschwager.

> PROGRÈS EN VUE

PRO- BOT'S

Rencontre
aux frontières
du réel avec
des créatures
pas comme
les autres

NOU'S



Avec son clone mécanique, le roboticien japonais Hiroshi Ishiguro, de l'université d'Osaka, teste les réactions des humains à ces machines qui leur ressemblent tant.

> PROGRÈS EN VUE

SOMMES-
NOUS PRÊTS
À AVOIR
AFFAIRE À
CES ROBOTS
À VISAGE
HUMAIN ?
ET SONT-ILS
PRÊTS
À FAIRE
CE QUE NOUS
ATTENDONS
D'EUX ?





IMMORTEL

Nick Mayer, du projet LifeNaut, bavarde avec la tête Bina48. Créé par Hanson Robotics, cet humanoïde est le portrait de la cofondatrice de LifeNaut, Bina Rothblatt, qui cherche à explorer, dans la fusion robot-humain, la piste technologique de l'immortalité.



ésolument, quelqu'un pianote sur le clavier d'un ordinateur portable et l'actroïde-DER se redresse d'un coup, en émettant un son bruyant. L'air comprimé circulant sous sa peau en silicone déclenche des actionneurs, qui soulèvent ses bras et étirent les coins de sa bouche en un sourire timide. Elle paraît reprendre ses esprits. Son regard balaie la pièce où elle se tient, puis se tourne dans ma direction. Malgré moi, je croise l'expression mécanique de son visage. « Vous êtes surpris que je sois un robot ?, demande-t-elle. J'ai l'air d'un être humain, n'est-ce pas ? »

Conçu par la société japonaise Kokoro, l'actroïde-DER joue les présentateurs futuristes lors d'événementiels d'entreprises. Il a fallu investir 250 000 \$ (177 750 €) pour mettre au point ce robot aux mouvements mécaniques sans grâce, et au joli minois à l'aspect légèrement dément. Des versions plus perfectionnées d'actroïdes circulent déjà dans les salons de technologie, mais ce modèle a été expédié à la Carnegie Mellon University, à Pittsburgh, afin d'acquérir un semblant de personnalité. Telle est du moins la mission confiée à cinq étudiants de troisième cycle, à qui l'Entertainment Technology Center a accordé quinze semaines pour rendre le « fembot » plus femme et moins robot. D'entrée de jeu, ils l'ont renommé Yume – rêve, en japonais. « Kokoro l'a conçu pour être physiquement réaliste, ce qui n'est pas assez en soi, confie Christine Barnes, une étudiante coproductrice du projet Yume. Il nous faut passer du réalisme à la crédibilité. »

Les actroïdes font partie d'une nouvelle génération de robots, destinés à fonctionner non pas comme des machines industrielles programmées, mais comme des agents de plus en plus autonomes, qui pourront jouer dans nos maisons, nos écoles et nos bureaux, des rôles auparavant tenus par les seuls humains.

« D'ici cinq à dix ans, la présence de robots dans l'environnement humain sera une banalité », affirme Reid Simmons, professeur de robotique à Carnegie Mellon. Cette perspective soulève une foule de questions. Quelle quantité d'activités humaines quotidiennes sommes-nous prêts à confier à des machines ? À quoi ces robots doivent-ils ressembler ? Souhaitons-nous voir des androïdes comme Yume œuvrer dans nos cuisines ? Au Japon, un adorable bébé phoque automate conçu pour divertir les personnes âgées dans leur maison de retraite a été accusé de contribuer à isoler les vieillards. Des craintes identiques se sont exprimées à propos des futurs robots baby-sitters. Et il y a bien sûr les recherches sporadiques pour créer des androïdes toujours disponibles sexuellement. L'an dernier, une société du New Jersey a lancé sur le marché un « compagnon » réceptif au toucher et qui parle.

En bref : sommes-nous prêts à avoir affaire à eux ? Et sont-ils prêts à faire ce que nous attendons d'eux ? Dans un bâtiment proche du Entertainment Technology Center, Herb est assis, immobile. Herb – pour Home Exploring Robotic Butler, ou valet de chambre à usage domestique – est en cours d'élaboration à Carnegie Mellon, qui s'est associée à Intel Labs Pittsburgh. Il pourra fonctionner, dans un avenir proche, comme un robot d'aide aux personnes âgées et handicapées. Avec des roues qui font office de jambes et des éléments d'ordinateurs en guise de corps, il est sans charme. Mais contrairement à Yume, Herb paraît doué d'un semblant de vie mentale. Pour l'instant, il améliore sa fonctionnalité en étudiant divers scénarios de manipulation – plus de 20 000 à la seconde – des représentations d'objets stockées dans sa mémoire.

TRAITER L'INFORMATION INTELLIGEMMENT

« Je l'appelle une rêverie », dit Siddhartha Srinivasa, le créateur d'Herb, par ailleurs professeur au Robotics Institute, à Carnegie Mellon. « Cela permet de comprendre intuitivement que le robot se visualise vraiment en train de faire quelque chose. »

Pour évoluer dans un espace humain, un robot comme Herb doit percevoir et affronter des objets inconnus, et se mouvoir sans heurter des gens eux-mêmes en plein déplacement. Son système de perception comprend une caméra vidéo et un laser de navigation fixé à une perche au-dessus de son bras mécanique. ▶

DOMESTIQUE

Représentatif de la dernière génération de robots conçus pour participer à notre monde, le PR2 sait tout faire : distribuer le courrier, plier le linge et cuisiner. Il a même été testé pour aider les personnes âgées.



DES ÉTUDES MONTRENT QUE LES GENS ATTENDENT DES ROBOTS SOCIAUX QU'ILS RESPECTENT LES MÊMES RÈGLES QU'EUX.

Différent d'une armature hydraulique industrielle, le bras d'Herb est animé par un système de détection des niveaux de pression, composé de câbles comparables à des tendons humains. Ce qui est indispensable si on veut qu'il soutienne une vieille dame jusqu'à la salle de bains, sans la catapulter à travers la porte.

Dans le laboratoire de Srinivasa, un étudiant ordonne au robot de prendre une brique de jus de fruit sur une table. Le laser d'Herb tourne, créant un réseau en 3D qui cartographie la position des gens et des objets, jusqu'à ce que la caméra identifie comme un candidat vraisemblable la brique de jus en question. Le bras du robot se tend, la saisit, la soulève, puis la pose sur le sol à la demande de l'étudiant. Pour le commun des mortels – dont le cerveau a évolué durant des millions d'années –, ce geste n'a rien d'impressionnant. Et un robot industriel programmé à cette fin n'aurait aucune difficulté à accomplir un acte aussi spécifique. La différence entre un robot social comme Herb et un robot industriel conventionnel vient de ce que le premier sait que l'objet est une brique de jus et non une tasse de thé, et qu'il doit la saisir d'une certaine façon. Son mode de compréhension de la chose implique beaucoup de mathématiques et de science informatique. D'après Srinivasa, cela revient, pour le robot, à « prendre une information et à la traiter intelligemment dans le contexte de tout ce qu'il sait déjà sur le monde qui l'entoure. »

Quand on présente un nouvel objet à Herb, les règles apprises antérieurement instruisent le mouvement de son bras et de sa main. L'objet a-t-il une poignée ? Peut-il se casser ? Pour programmer Herb à saisir les objets, Srinivasa s'est inspiré des gestes de l'Homme. Dans un bar, par exemple, il a observé comment les barman s'emparaient d'une bouteille pour en verser le contenu

selon un protocole qui n'a rien de naturel. Il a réduit ces mouvements à un algorithme qu'il a intégré à son répertoire. Évidemment, le monde que Herb commence à maîtriser est un environnement expérimental sous contrôle. Programmer ce robot pour qu'il marche dans un véritable espace humain sera plus complexe. Pour avertir les gens de son approche, il actionne une sonnette de bicyclette digitale. S'il y a beaucoup de monde dans la pièce, il choisit le mode d'action le plus sûr et reste sur place en klaxonnant au passage de chaque personne. Des études montrent que les gens attendent des robots sociaux qu'ils respectent les mêmes règles qu'eux. Nous sommes mal à l'aise s'ils ne s'y plient pas ou commettent certaines erreurs. Le snackbot, autre robot mobile en phase de création à Carnegie Mellon, sert des snacks à la cantine de l'école de science informatique. Et les gens lui pardonnent plus facilement ses erreurs s'il avertit à l'avance qu'il peut se tromper, ou s'il s'excuse.

Comme bien des robots sociaux, le snackbot est mignon : il mesure 1,35 m, et ses traits vaguement humains s'apparentent à ceux d'un personnage de BD. Ces spécificités lui évitent d'entrer dans la « vallée dérangeante » – une expression inventée il y a plus de quarante ans par Masahiro Mori, le pionnier de la robotique japonaise. Selon cette théorie, nous répondons positivement jusqu'à un certain point aux robots qui ont une apparence humaine. Mais s'ils s'approchent du vivant sans être vivants, ce qui était attachant devient repoussant.

« PARCE QU'IL EST MOI-MÊME »

Bien que la plupart des roboticiens ne voient aucune raison de frôler ce précipice, certains considèrent que la vallée dérangeante est une zone qu'il faut traverser si nous voulons atteindre l'autre côté – des robots qui nous ressemblent, évoluent et agissent suffisamment comme nous pour nous inspirer de l'empathie et non du dégoût. Parmi ces explorateurs, le plus intrépide est sans doute Hiroshi Ishiguro, le principal concepteur de Yume, la fille de la vallée dérangeante, alias actroïde-DR.

Pour explorer la composante émotionnelle du HRI (human-robot interaction), Ishiguro a surveillé la création de nombreux robots novateurs, certains plus troublants que d'autres. Pour l'instant, la création la plus noire d'Ishiguro reste son propre jumeau robotique. Quand je lui ai rendu visite aux ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories à Tokyo, l'humain et le clone étaient tous deux vêtus de noir des pieds à la tête. Assis sur une chaise derrière lui, son jumeau avait la même crinière de cheveux noirs et la même mine renfrognée. Ishiguro, qui enseigne à l'université d'Osaka, à deux heures de Tokyo, affirme avoir créé son double en silicone pour pouvoir être à deux ▷

CRÉDIBLE

À la Carnegie Mellon University (États-Unis), le robot actroïde-DER suit un cours accéléré pour ressembler aux humains. Conçu par la société japonaise Kokoro, ce « présentateur futuriste » a nécessité 177 750 € d'investissement.



ROBOVIE TROUVA INJUSTE QU'ON NE LE LAISSÂT PAS JOUER À SON TOUR. « TU N'ES QU'UN ROBOT, CELA N'A PAS D'IMPORTANCE », RÉPONDIT ALORS L'EXPÉRIMENTATEUR.

endroits à la fois. Quand il est à Osaka, des détecteurs captent les mouvements de son visage et lui permettent de contrôler le robot à distance, qui, pendant ce temps, dialogue sur Internet avec certains de ses collègues. Comme d'autres pionniers du HRI, le chercheur tente de reculer les limites, technologiques mais aussi philosophiques. « Vous croyez que je suis réel et que cette chose n'est pas humaine, me dit Ishiguro, désignant son jumeau. Mais les progrès de la technologie rendront cette distinction plus difficile à établir. Si vous ne pouvez pas déceler la différence qu'il y a entre les deux, cela importe-t-il que vous interagissiez avec un humain ou une machine ? » L'utilisation idéale de son jumeau consisterait à le placer chez sa mère qui vit loin, et à laquelle il rend rarement visite. Une façon d'être plus souvent avec elle. « Pourquoi votre mère accepterait-elle un robot ? » Deux visages renfrognés me regardent. « Parce qu'il est moi-même », dit l'un d'eux. Avant que les clones des fils ne se comportent avec les mères comme de vrais fils, il faudra pousser les choses au-delà du mimétisme de la perfection. Pensons aux défis auxquels Herb est confronté quand il évolue dans un environnement physique humain normal.

Mais d'autres robots s'aventurent sur le terrain périlleux des états mentaux et émotionnels de l'Homme. Nilanjan Sarkar, de la Vanderbilt University, et Wendy Stone, de l'université de Washington, son ancienne collègue, ont inventé un prototype qui joue avec de jeunes autistes. Celui-ci enregistre les émotions d'un enfant en mesurant les changements infimes du rythme cardiaque, du regard, de la sudation et d'autres signaux physiologiques. S'il perçoit de l'ennui ou de la contrariété, il change le rythme du jeu jusqu'à ce que le signal indique qu'il s'amuse à nouveau. Le système n'est pas assez sophistiqué pour

intervenir dans la thérapie des enfants autistes, où les interactions linguistiques et physiques sont très complexes. Mais il constitue une première étape dans la reproduction d'un des traits déterminants de l'humanité, qui est de savoir que les autres pensent et ressentent, et d'adapter son comportement en conséquence.

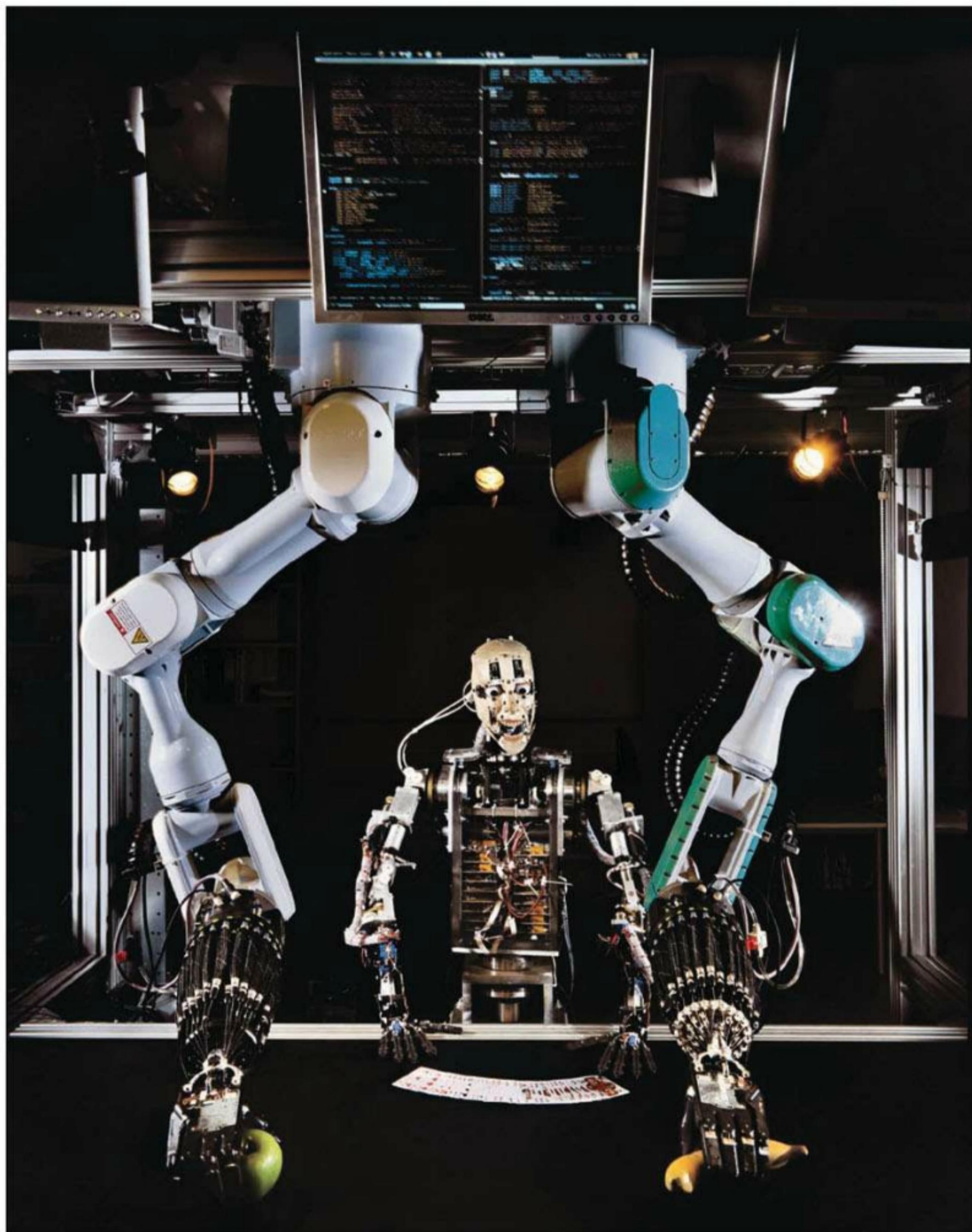
En 2007, dans un article au titre provocant : « Qu'est-ce qu'un humain ? », le psychologue du développement Peter Kahn, de l'université de Washington, a établi, avec Ishiguro et d'autres roboticiens, neuf points de référence pour déterminer la proximité d'un robot avec l'humain. Les chercheurs ne s'intéressaient pas aux capacités techniques du premier, mais à la perception que les hommes en ont et au traitement qu'ils lui réservent. Considérons le point de référence « valeur morale intrinsèque » – à savoir : jugeons-nous un robot digne des considérations morales fondamentales que nous accordons naturellement à autrui ? Kahn réunit des enfants et des adolescents pour jouer aux devinettes avec un petit humanoïde futé nommé Robovie. Après quelques parties, un expérimentateur interrompit brusquement le jeu alors que c'était au tour de Robovie de deviner, et il intima au robot de retourner dans son placard. Robovie trouva injuste qu'on ne le laissât pas jouer à son tour. « Tu n'es qu'un robot, cela n'a pas d'importance », répondit alors l'expérimentateur. Robovie protesta tristement, mais en vain, et quitta le jeu. Bien sûr, ce n'est pas la réaction du robot qui interpelle ici – un autre chercheur le manipulait –, mais la réponse des sujets humains. « Plus de la moitié des enfants et des adolescents que nous avons testés étaient d'accord avec Robovie... ce qui est une réponse morale », commente Kahn.

CONSCIENCE ET VALEURS MORALES

Il n'est pas surprenant que des humains, les enfants surtout, éprouvent de l'empathie pour un robot qui subit une injustice. Après tout, les enfants nouent des liens privilégiés avec des poupées et des figurines. Mais la capacité du robot à émettre lui-même des jugements moraux est un objectif plus lointain. Allons-nous construire des machines pourvues d'une conscience, sans doute le plus spécifique de nos attributs humains ? Le sens éthique est capital dans des situations où les valeurs morales sont souvent mises à l'épreuve – comme sur un champ de bataille. Les robots téléguidés, drones et véhicules terrestres armés, jouent un rôle toujours plus complexe dans les combats. Plusieurs gouvernements mettent au point des modèles qui pourront un jour décider de leur propre chef quand et sur qui tirer. C'est le chercheur Ronald Arkin, du Georgia Institute of Technology d'Atlanta, qui a poussé le plus loin la ▶

ANTHROPOMORPHE

Relié à un ordinateur, l'humanoïde Barthoc, « à visage humain » – un élément-clé dans la communication –, et deux mains de robot travaillent ensemble, à l'université de Bielefeld (Allemagne).



LES CHIFFRES

- **231** labos dans le monde travaillent sur les robots.
- **8,7 millions** de robots à usage personnel (domestique et de loisir) ont été vendus dans le monde en 2009.
- **11,4 millions** de robots sont prévus à la vente entre 2010 et 2013.

**DES MACHINES
NE SE LAISSERAIENT
PAS DÉSTABILISER
PAR LES ÉMOTIONS,
ET AURAIENT DONC MOINS
DE RAISONS DE FAIRE
DES ERREURS.**



QUE LES ROBOTS L'EMPORTENT sur les humains au Mondial, en 2050... voilà l'objectif des fondateurs de la compétition RoboCup Junior, à laquelle l'équipe robotisée de Virginia Tech Dribble (ci-dessus) participait en 2010.

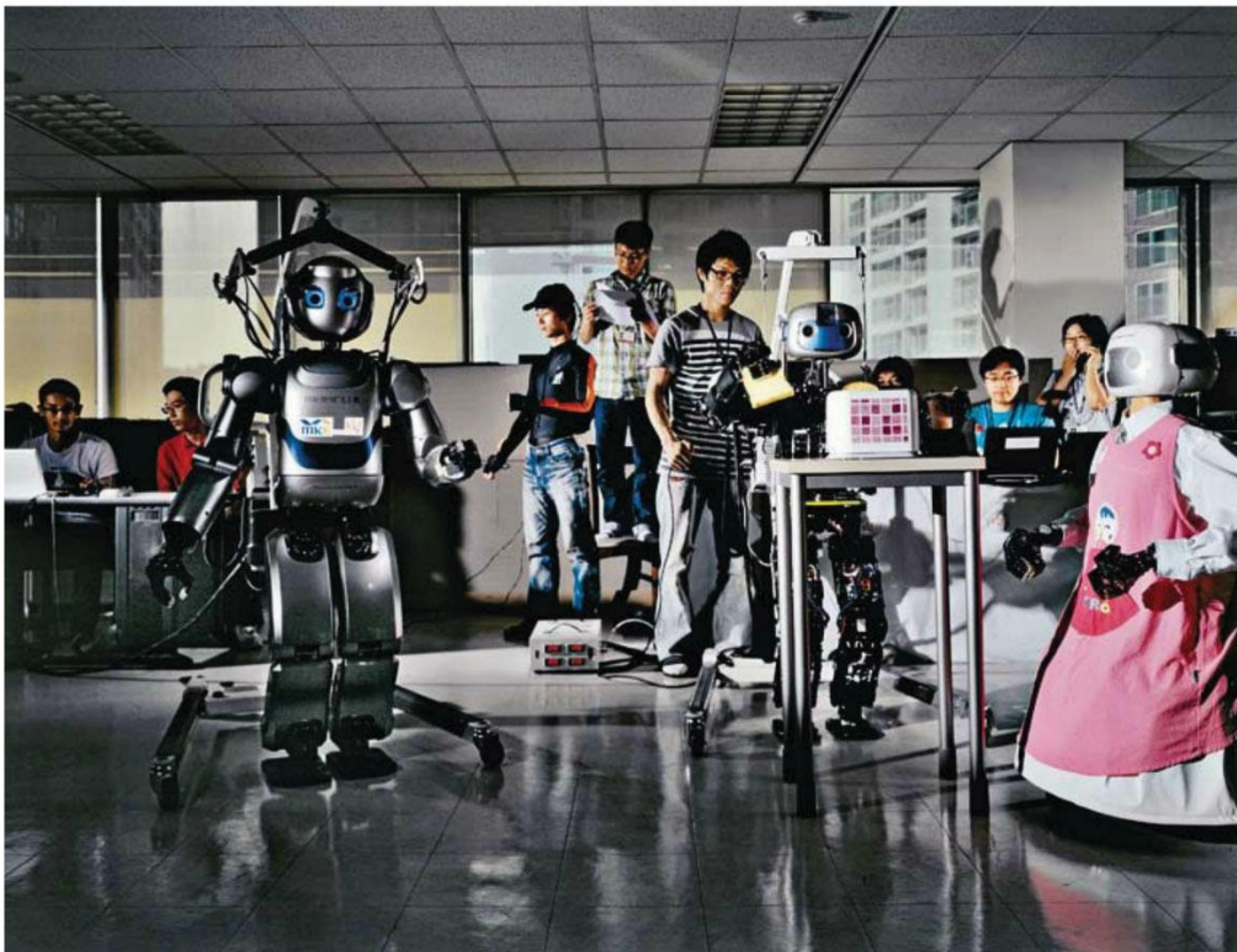
conception de robots éthiques. Comme il l'explique, son travail est en fait motivé par les faiblesses éthiques des humains. Arkin évoque deux incidents survenus en Irak: des pilotes d'un hélicoptère US auraient achevé des combattants blessés, et des marines pris en embuscade à Haditha auraient tué des civils. Peut-être sous l'influence de la peur ou de la colère. Mais des machines ne se laisseraient pas déstabiliser par des émotions. Arkin estime donc qu'ils auraient moins de raisons de faire des erreurs. En bref, ils pourraient prendre de meilleures décisions éthiques que les humains. Dans son système, un robot qui chercherait à déterminer s'il doit tirer ou pas serait guidé par un «gouverneur éthique» siégeant dans ses logiciels informatiques. Face à une cible potentielle, ce dernier analyserait une cohorte de contraintes préprogrammées fondées sur les règles de l'engagement et les lois de la guerre. Une seconde composante, l'«adaptateur éthique», déterminerait avec précision le choix des armes utilisées par le robot. Si une arme trop puissante devait causer des dégâts involontaires – par exemple, un immeuble en plus d'un tank visé – ce type d'arme serait alors classé «off-limits». Comme l'explique Arkin, c'est l'équivalent d'un modèle robotique de culpabilité.

De retour à Carnegie Mellon pour la dernière semaine du semestre de printemps, je retrouve l'équipe du projet Yume à l'Entertainment Technology Center, où les étudiants exposent l'androïde transformé.

Du réalisme à la véracité, le chemin a été cahoteux. Yan Lin, la programmatrice informatique de l'équipe, a conçu une interface conviviale pour contrôler plus souplement les mouvements de Yume. La tentative de donner à la «fembot» l'aptitude de détecter les visages et d'établir un contact visuel plus réaliste se solde par un demi-succès. D'abord, les yeux de Yume croisent les miens, puis elle balance la tête mécaniquement. Pour masquer la brusquerie des mouvements et son regard fuyant, l'équipe a cherché quel type de personnalité agirait de la même façon et a doté Yume d'un costume approprié, en l'occurrence celui d'une jeune fille «un peu goth, un peu punk, et préoccupée seulement d'attirer votre attention dans la pièce». Nul doute qu'elle y parvient. Mais malgré son déguisement branché – y compris les longues mitaines dissimulant ses mains raides de zombie et le rouge à lèvres cachant son incapacité à fermer la bouche –, en dessous c'est le même vieil actroïde-DER. Néanmoins, Yume est plus humble aujourd'hui. L'équipe a appris à réduire ses ambitions et lui a offert un nouveau discours préliminaire: «Je ne suis pas un humain, admet-elle. Je ne serai jamais tout à fait comme vous. Ce n'est pas si mal. En fait, cela me plaît d'être un androïde.» □

RECHERCHES

Les robots domestiques s'activent à l'Institut coréen des sciences et de la technologie. L'un prépare un toast qu'un autre servira à un humain. Le troisième, lui, teste la technologie mise au point pour se déplacer dans une maison.



QUAND LA FRANCE CONCURRENCE LE JAPON

Avec Nao, un robot humanoïde de 58 cm de haut, la start-up française Aldebaran Robotics s'est très vite imposée dans la cour des grands. Robuste, abordable (il est cinq fois moins cher que ses homologues), Nao peut être programmé pour marcher, faire le ménage ou communiquer avec

des enfants autistes. « Aujourd'hui, un programmeur peut modifier et trouver de nouvelles applications à Nao, explique-t-on chez Aldebaran. Demain, nous pourrons le vendre aux particuliers. » En juillet 2011, Nao a obtenu la quatrième place d'un concours de robots domestiques.

► À LIRE

Robots, Brigitte Munier. La Différence, 2011.
Les créatures artificielles, Jean-Claude Heudin. Ed. Odile Jacob, 2008.

R.U.R., Karel Čapek. La Différence, 2011.

► À CLIQUER

www.aldebaran-robotics.com

TOU^T EST BON DANS LE COCHON

Un cochon comme les autres 05049 ? Presque. Sa seule particularité est d'avoir été étudié post mortem. Christien Meindertsma, une designeuse néerlandaise, a retracé son devenir à travers la planète : saucissons, chewing-gums, béton...

05049

C'est son nom. Ou plutôt son numéro, son matricule. Pas de sobriquet pour ce porc de 103,7 kg qui n'a pas - et n'aura jamais - conscience de sa valeur. Mais il va rendre de grands services à l'humanité. Certes, il sera utilisé pour remplir quelques assiettes, et deviendra pâté, jambon ou saucisses. Puis sa peau

servira aux maroquiniers, sa graisse à produire du saindoux, ses soies à fabriquer des pinceaux... De façon plus étonnante, chacun de ses éléments constitutifs - du sang aux os, en passant par ses organes - entrera dans la composition de produits aussi insolites que des crèmes antirides ou du carburant.

RÉINCARNATION

Il a fallu trois ans d'enquête à Christien Meindertsma pour savoir ce que devenait 05049 dans la chaîne industrielle. Ce qui l'a amenée à interviewer éleveurs, bouchers... mais aussi dirigeants de start-up dans le domaine des biotechnologies et

fabricants de munitions. Résultat : déco intérieure, dérivés alimentaires, construction... 05049 est omniprésent. Une vraie réincarnation. Et la confirmation de l'adage selon lequel «dans le cochon, tout est bon».

À LIRE

PIG 05049, Christien Meindertsma. Flocks, 2007.
Le cochon. Histoire d'un cousin mal aimé, Michel Pastoureau. Gallimard Découvertes, 2009.

1,2 MILLIARD PAR AN

C'est le nombre de cochons élevés dans le monde. En France, on en produit près de 25 millions.

185

Tel est le nombre de produits fabriqués avec 05049 selon Meindertsma. Les acides gras issus de la moelle servent d'agents durcisseurs pour

les savons, la gélatine extraite de ses tissus est intégrée dans des beurres allégés, ses os entrent dans la composition du béton cellulaire.

COUSIN

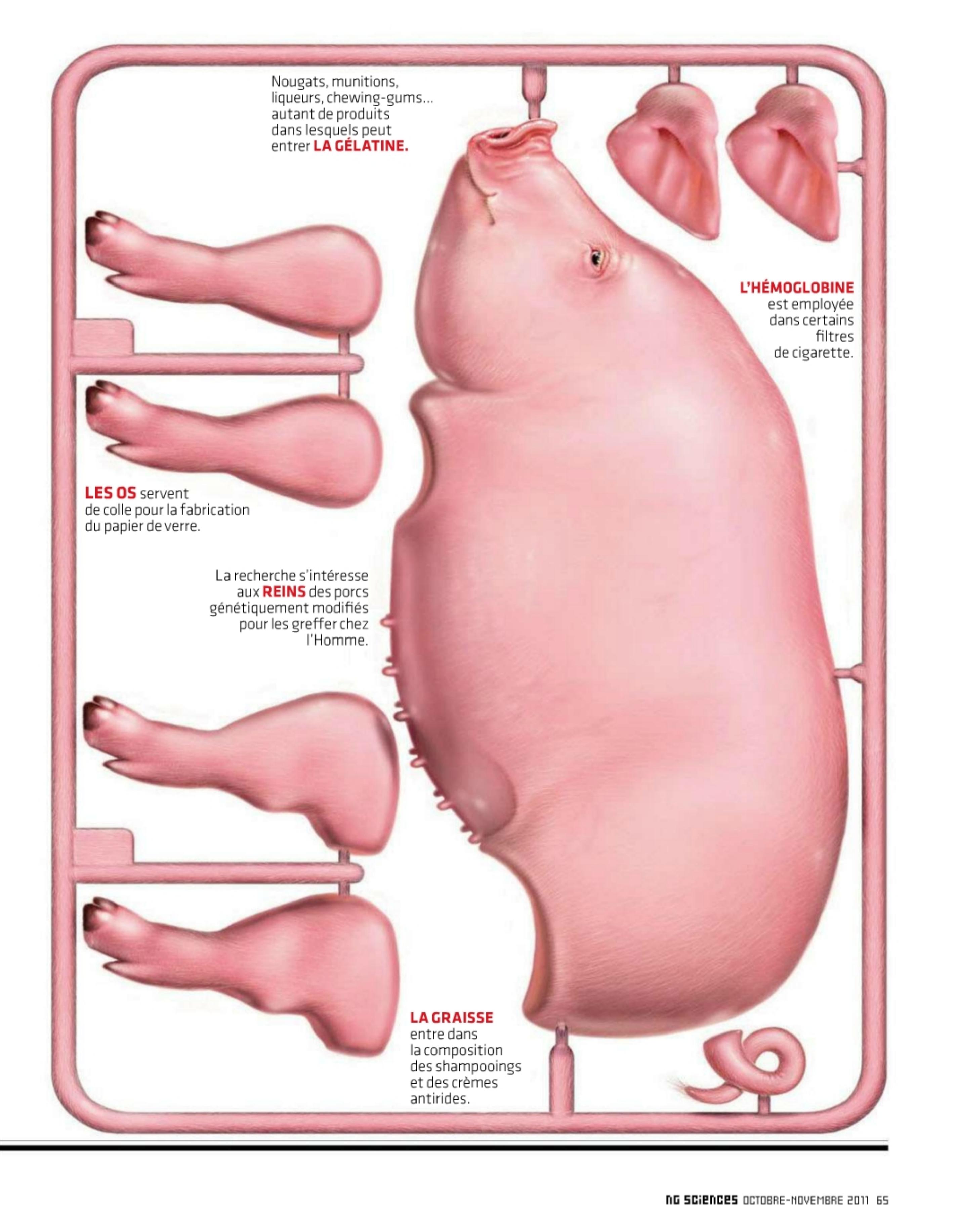
Génétiquement proche de l'Homme (à 95%), le porc fournit bien des produits à vocation médicale : valve cardiaque, insuline... Selon Michel Pastoureau, historien des animaux, une truie aurait même été utilisée à porter, à titre expérimental, un embryon humain, le temps d'une opération chirurgicale. Pour lui,

le cochon est notre cousin. Ses organes font figure de candidats parfaits pour les xénogreffes. Christien Meindertsma se demande, elle, pourquoi les porcs ne sont pas traités comme des rois. Question légitime, au moment où l'industrialisation de la chaîne alimentaire fait de cet animal un numéro : 05049 !

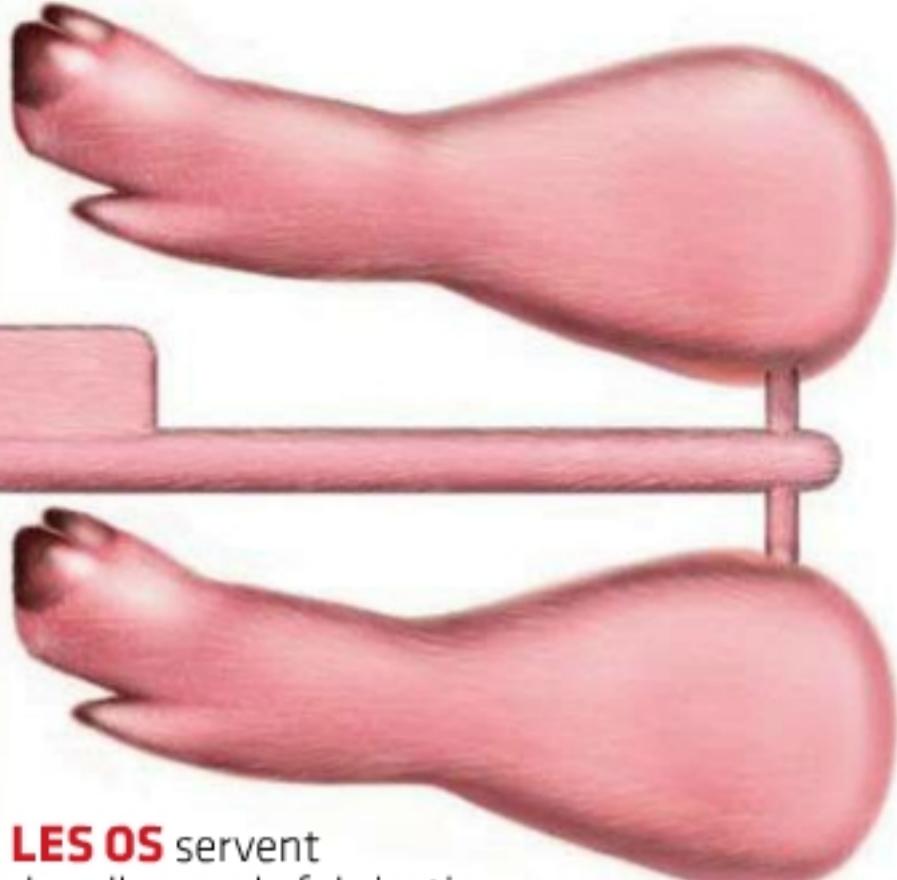
COMMENT D'UNE BALEINE ON FAISAIT UN PARAPLUIE

Au cours des siècles passés, la baleine et le cachalot ont donné bien des produits dérivés. Leurs os servirent de soutien aux huttes des Inuits. Plus tard, au XIX^e siècle, on prélevait le célèbre ambre gris de l'intestin du cachalot pour confectionner des parfums en Occident. L'huile

issue de sa graisse permettait de fabriquer bougies et savons, et servait de lubrificateur pour les machines de la révolution industrielle. Enfin, les fanons des rorquals entraient dans l'élaboration des parapluies. Sans oublier la viande, qui était salée et séchée pour être conservée.

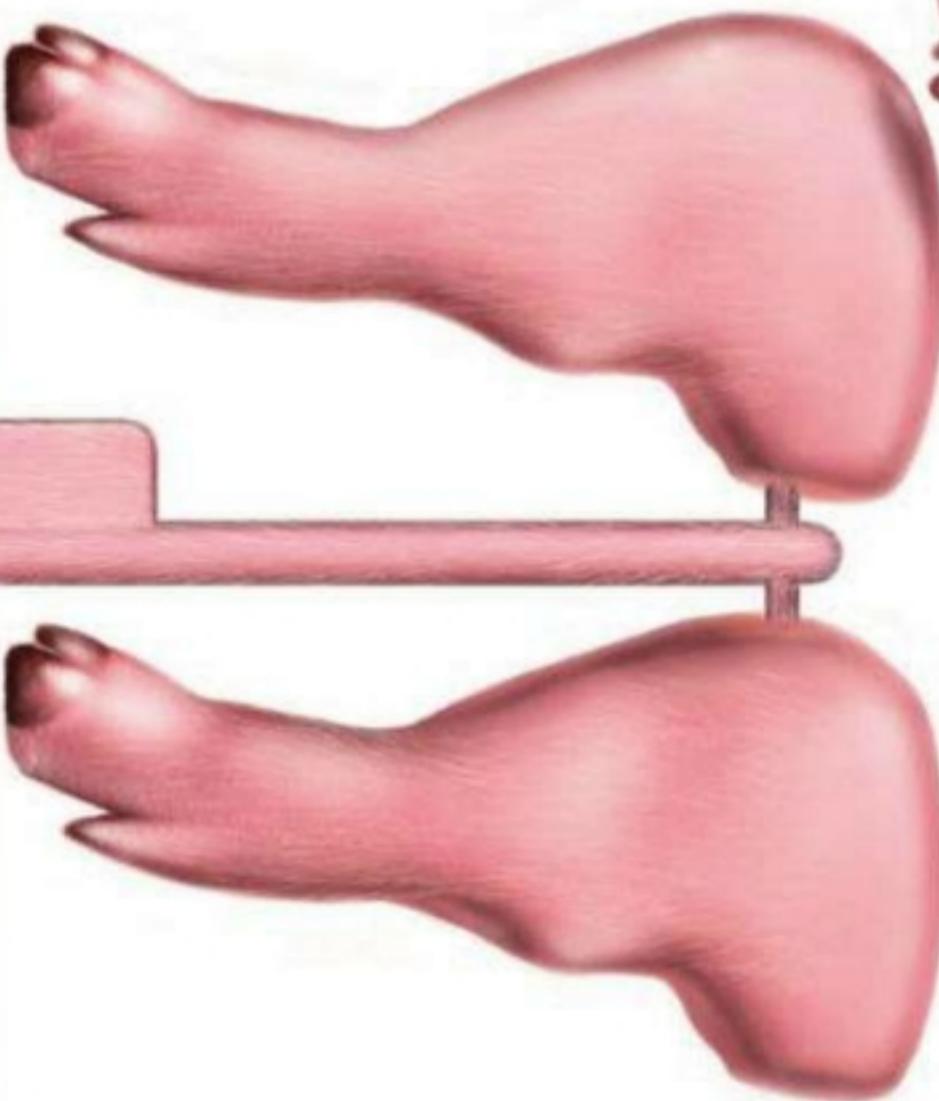


Nougats, munitions,
liqueurs, chewing-gums...
autant de produits
dans lesquels peut
entrer **LA GÉLATINE**.



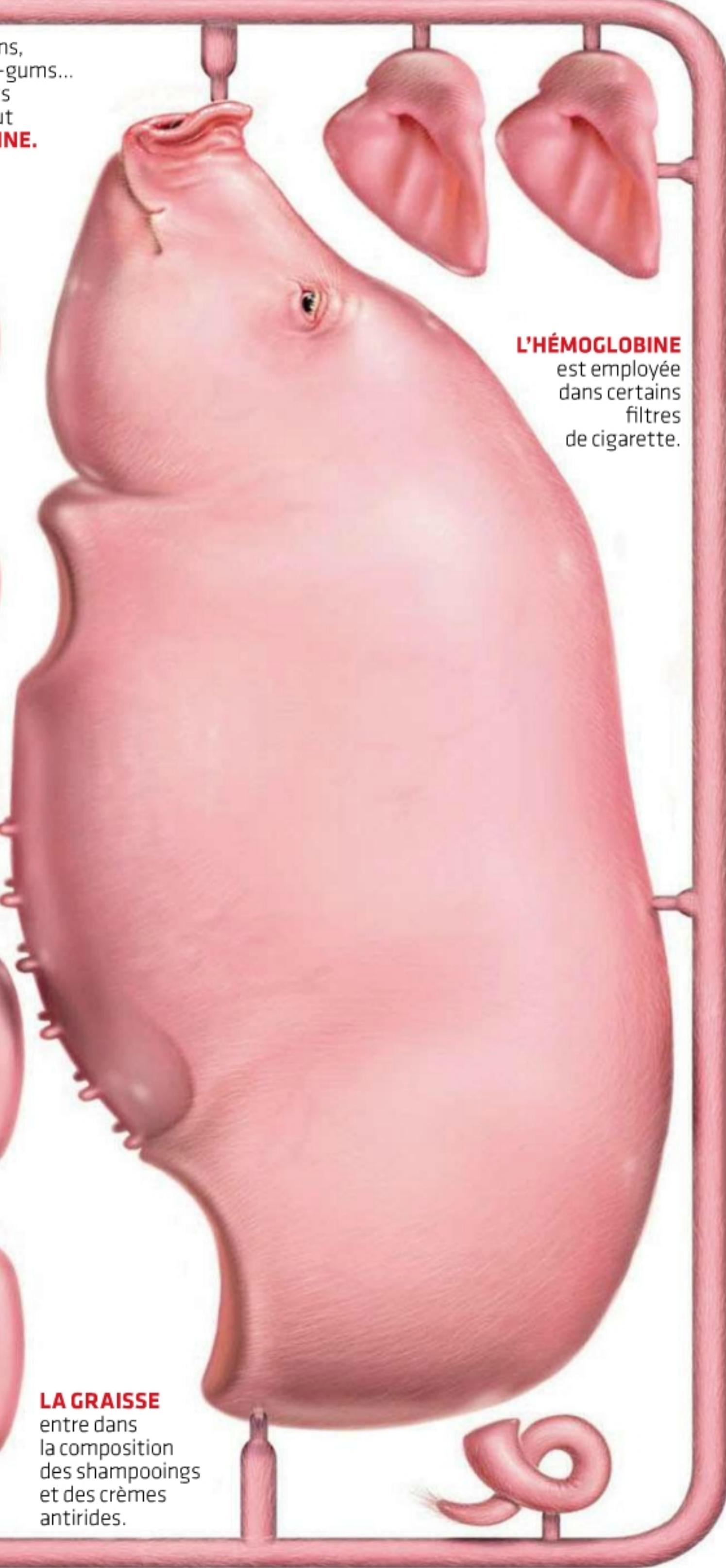
LES OS servent
de colle pour la fabrication
du papier de verre.

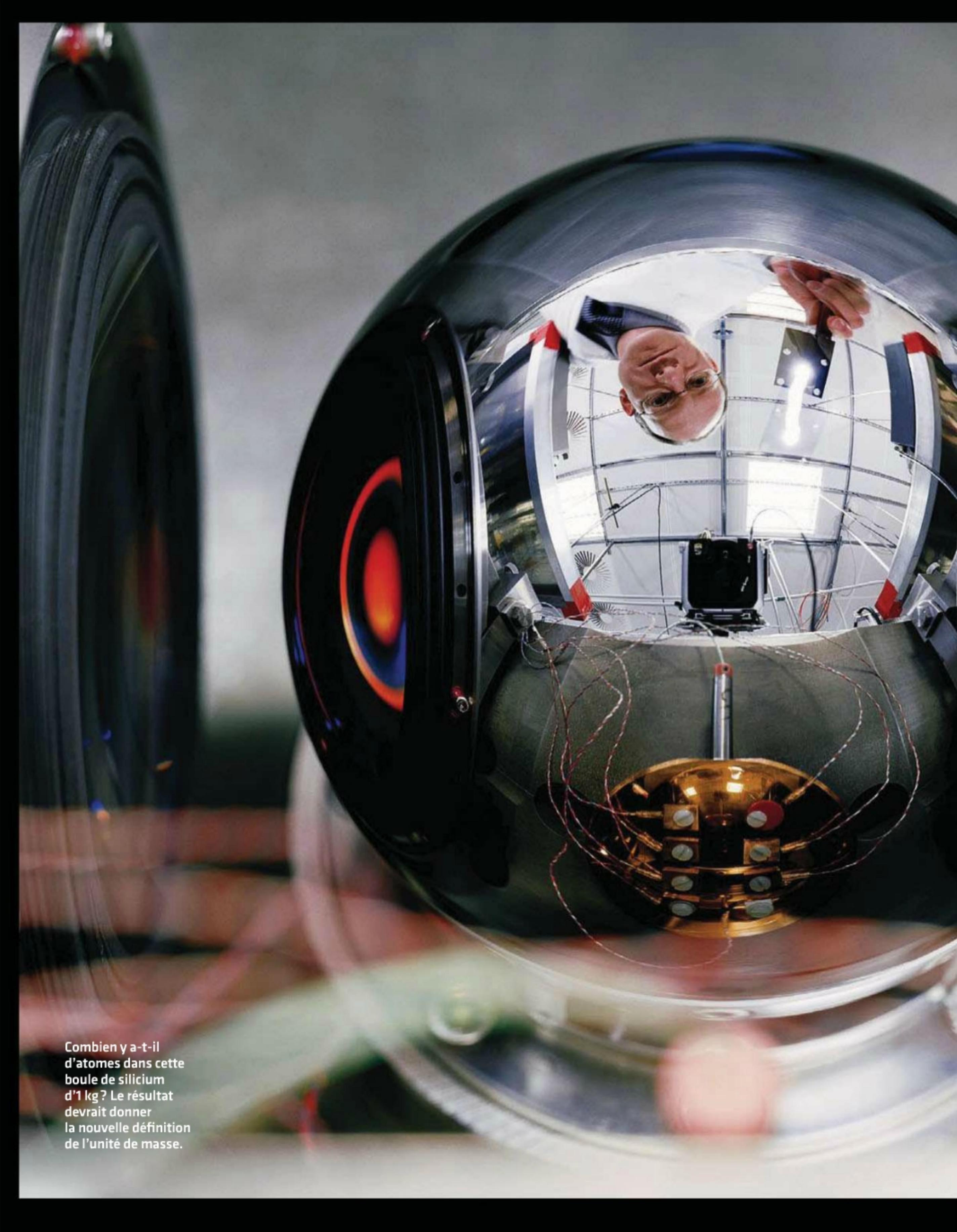
La recherche s'intéresse
aux **REINS** des porcs
génétiquement modifiés
pour les greffer chez
l'Homme.



LA GRAISSE
entre dans
la composition
des shampoings
et des crèmes
antirides.

L'HÉMOGLOBINE
est employée
dans certains
filtres
de cigarette.





Combien y a-t-il d'atomes dans cette boule de silicium d'1 kg ? Le résultat devrait donner la nouvelle définition de l'unité de masse.



>LA SCIENCE DE LA DÉMESURE

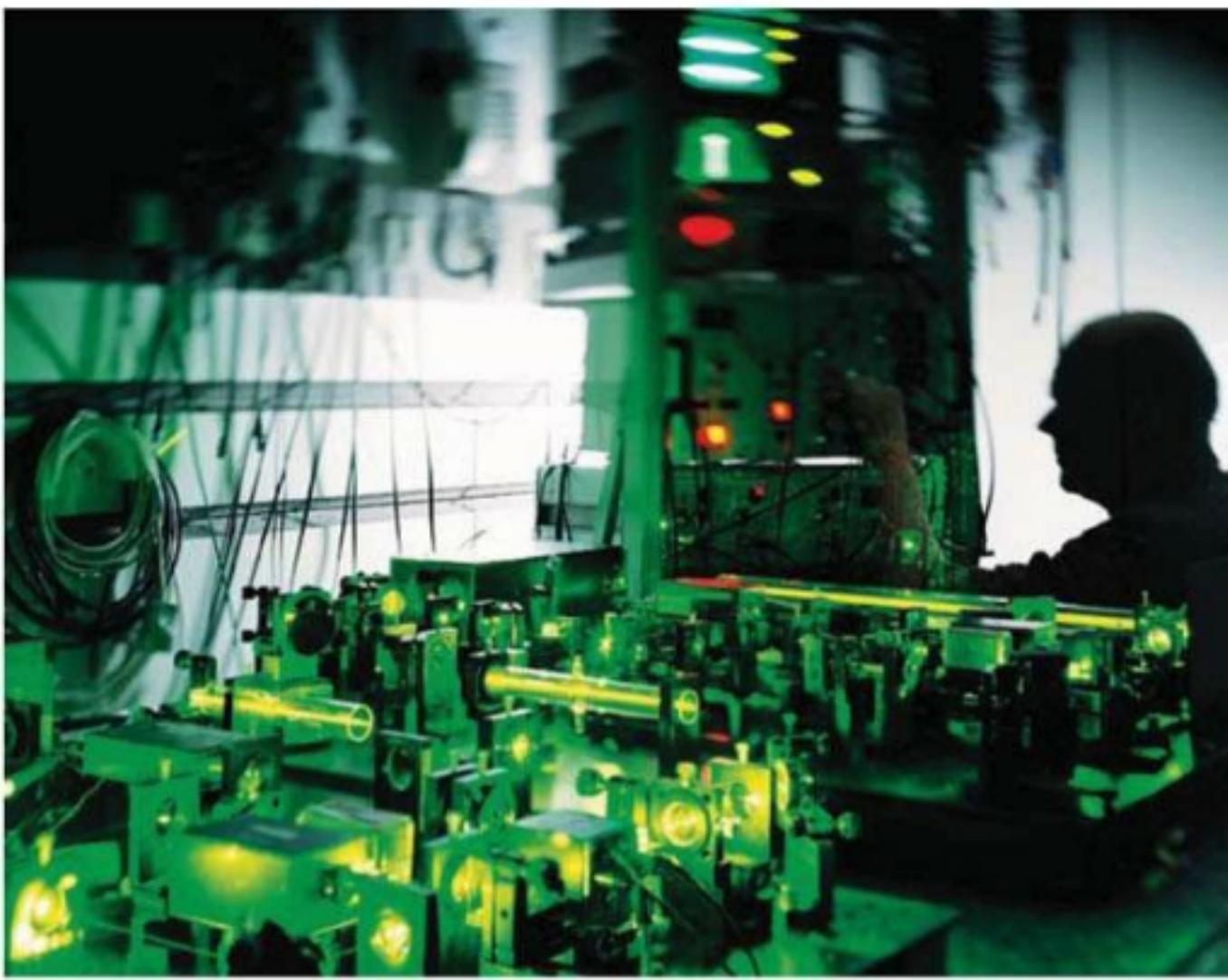
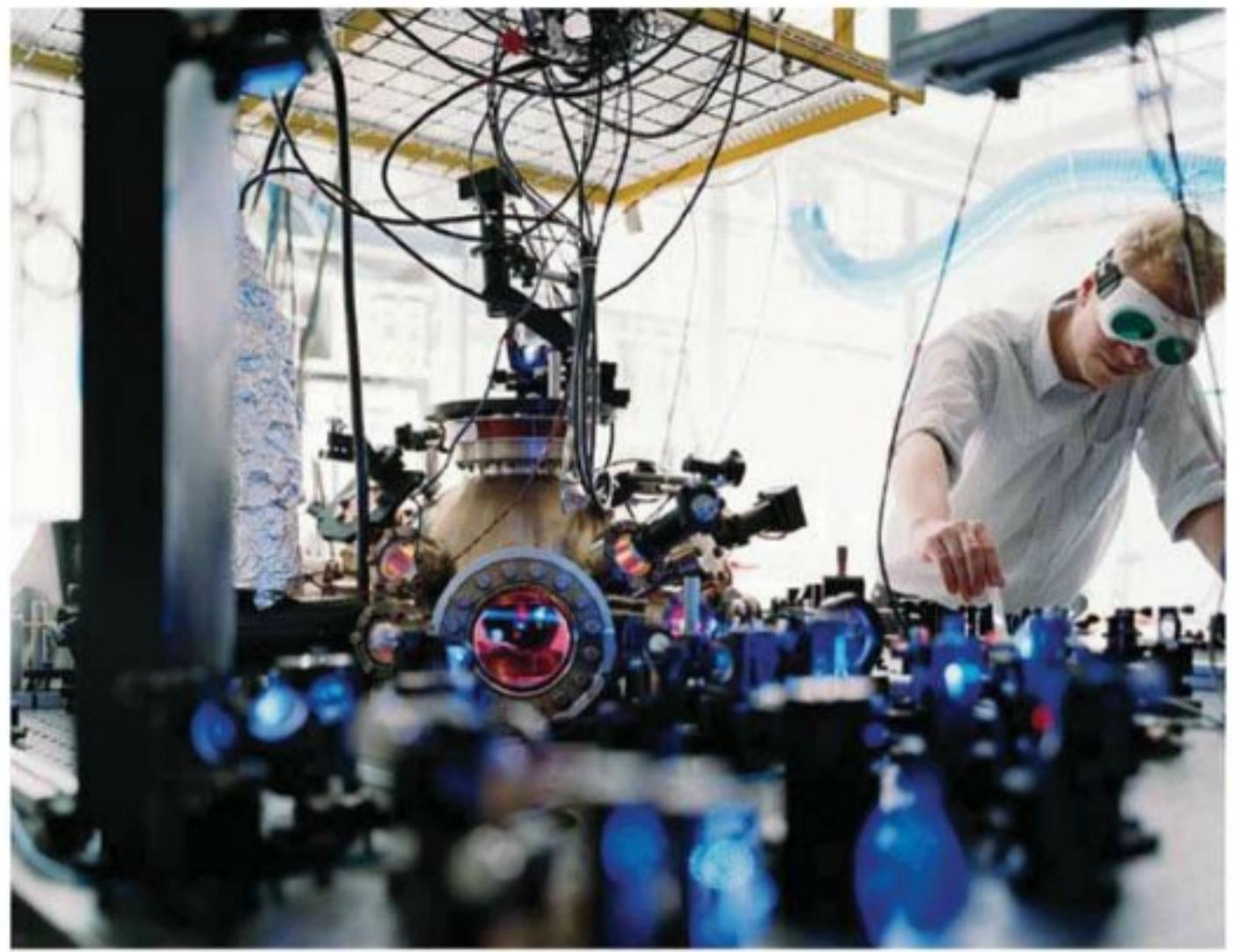
LA QUÊTE DU

KILO GRAAL

En sciences, on le sait, tout est affaire de mesures. Depuis des décennies, les physiciens ont entrepris de dématérialiser leurs unités, histoire de les rendre reproductibles et plus fiables. Une seule leur résiste encore : le kilogramme.

PAR VAHÉ TER MINASSIAN

PHOTOGRAPHIES DE MARC STEINMETZ/VISUM/RÉA



MESURER

LE TEMPS

À Braunschweig (Allemagne), les chercheurs travaillent sur une horloge atomique optique à base de strontium. Cent fois plus précise que les modèles actuels, à base de césium.

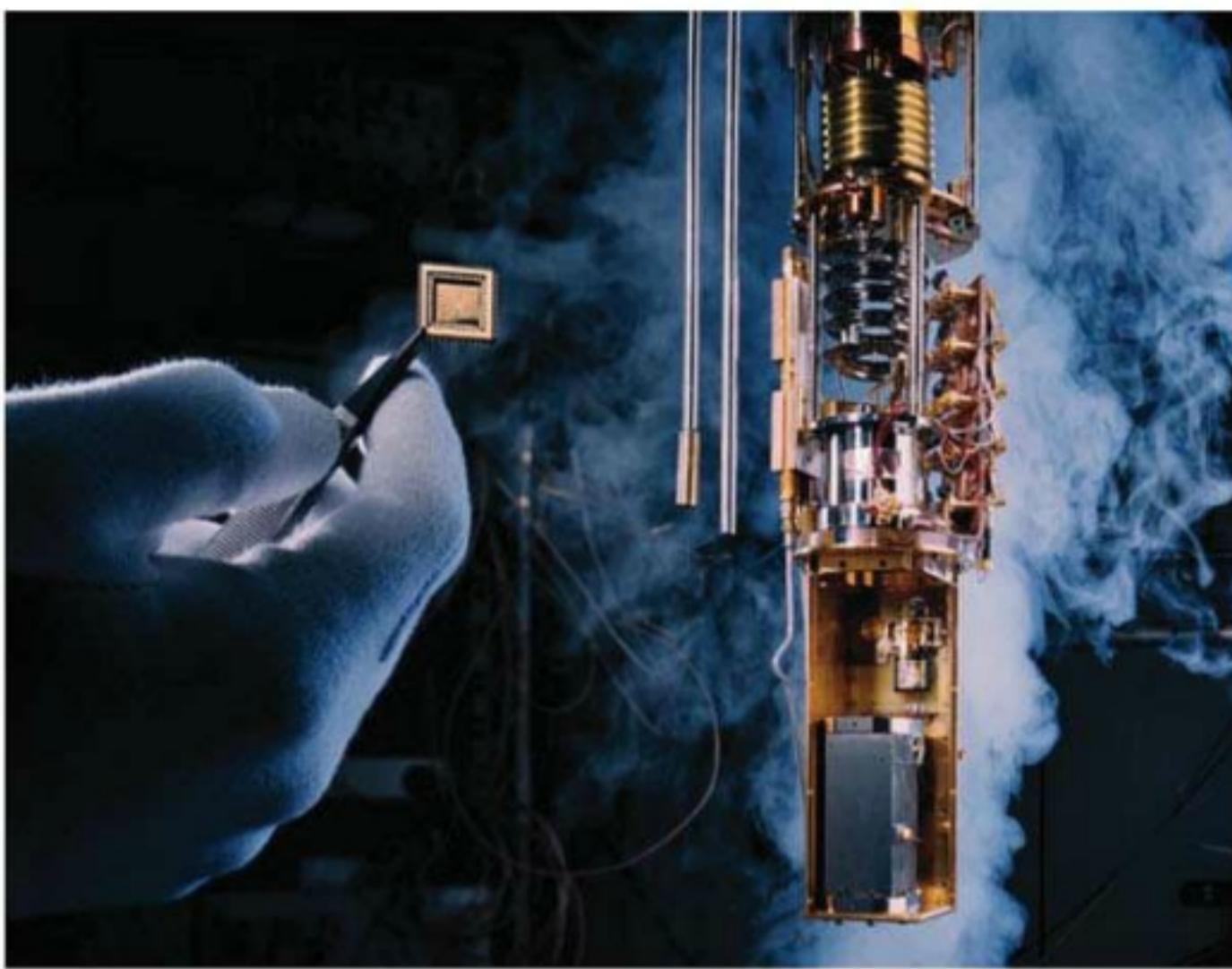
LA LONGUEUR

Les physiciens de Braunschweig produisent, grâce à ce laser, une lumière de fréquence spécifique qui permet de mesurer des longueurs avec des précisions ultimes.



L'INTENSITÉ LUMINEUSE

Ce robot goniophotomètre mesure l'intensité lumineuse. Son unité, la candela, est l'une des sept du système international.



L'INTENSITÉ DU COURANT ÉLECTRIQUE

Les scientifiques cherchent à changer la définition de l'ampère, qui se baserait alors sur la charge de l'électron. Cette puce sert ici à stocker et à compter chaque électron.

LA TEMPÉRATURE

À l'aide d'un cryostat, on refroidit des thermomètres pour les étalonner, afin d'établir un point de référence du zéro absolu, la température la plus basse qui puisse exister.

C'est un travail dont on parlera sans doute encore dans plusieurs décennies. Un test qui restera dans les annales de la physique. L'expérience internationale Avogadro, actuellement conduite à Braunschweig, en Allemagne, est à deux doigts de rentrer dans l'Histoire des sciences. Après neuf ans d'efforts, elle sera, en effet, bientôt capable de répondre à la question bizarre pour laquelle elle a été conçue : combien y a-t-il exactement d'atomes dans une sphère d'un kilogramme de cristal de silicium ultrapur ?

Inutile de se triturer les méninges pour saisir l'intérêt de ce chiffre. Il n'aura, au bout du compte, une réelle signification que pour une poignée de spécialistes dans le monde. Mais ses implications seront, elles, phénoménales. Car, croyez-le sur parole, de ce résultat dépend ni plus ni moins l'adoption d'une nouvelle définition pour le kilogramme !

DEPUIS 1875 et la signature par dix-sept pays de la Convention du mètre, c'est un peu toujours la même histoire : très régulièrement, l'une ou l'autre des sept unités de base du Système international change de définition. « La 24^e Conférence générale des poids et mesures (CGPM), programmée à Paris du 17 au 21 octobre 2011, a ainsi prévu d'examiner un projet visant à corriger pas moins de quatre d'entre elles : le kilogramme (unité de masse), l'ampère (unité d'intensité de courant), le kelvin (unité de température), et enfin la mole (unité de quantité de matière) », explique Marc Himbert, directeur scientifique et membre de l'Académie de technologies.

LES MOTIFS DE CES RÉFORMES ?

Ils varient selon la grandeur et le moment, mais sont assez faciles à comprendre dans le cas du kilogramme. Alors que le mètre-étalon en platine est depuis longtemps une pièce de musée, l'unité de masse de référence, elle, est toujours déterminée à l'aide d'un artefact matériel : un cylindre de métal connu sous le nom de Grand K, enfermé dans un coffre-fort du BIPM (Bureau international des poids et mesures), à Sèvres. Sa masse fixe la valeur du kilogramme sur toute la planète.

A priori, le procédé, qui permet de connaître cette unité à 50 millionièmes de gramme près, en vaudrait bien un autre. Sauf que le précieux objet, constitué de platine et d'iridium, est soupçonné par les hautes sphères de la métrologie (la science des mesures) de prendre... du poids. Une dérive d'à peine 50 microgrammes par siècle, sans doute causée par la pollution ambiante. « Cette variation a été jugée suffisante pour que, en 1999, la CGPM demande à ses membres de travailler à une définition du kilogramme qui le relierait à une constante de la nature, comme celles de ▷

**LE GRAND K
EST SOUPÇONNÉ
DE PRENDRE
DU POIDS.**

DES RELEVÉS DE TEMPÉRATURES **BONS À JETER** À LA POUBELLE.

Planck ou d'Avogadro », confie Richard Davis, l'ex-chef de la section « masse » du BIPM. Pour être finalisées, les recherches d'outre-Rhin devront être comparées au résultat des expériences dites de la « balance de watt », conduites cette fois aux États-Unis, au Royaume-Uni et en France par l'équipe de Gérard Geneves, du Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE). À terme, les valeurs des constantes d'Avogadro et de Planck seront ainsi fixées au cent millionième près. Grâce à ces deux méthodes de détermination, le kilogramme sera enfin défini par rapport à une constante. Ce qui permettrait de se débarrasser du Grand K dès 2015.

POUR LES SIX AUTRES UNITÉS de base, les raisons de ce changement périodique de description sont légèrement différentes. Du mètre (déterminé à partir de la vitesse de la lumière) à la seconde (reliée à une propriété de l'atome de césum), ces unités sont, en effet, toutes déjà liées à des constantes de la nature. Problème : dans certains cas, établir leur valeur à partir de leur définition exacte s'avère assez difficile. « La réalisation de l'ampère est tellement complexe qu'en pratique les laboratoires de métrologie le déduisent d'autres grandeurs », raconte Luc Erard, ancien directeur de recherche du LNE.

Autre exemple : le kelvin. Cette unité souvent utilisée par les scientifiques, en lieu et place du degré Celsius que nous connaissons tous, est déduite depuis 1954 de la température du « point triple » de l'eau, c'est-à-dire de la température où ses trois phases – liquide, gazeuse et solide – coexistent. Or, explique Laurent Pitre, chargé de recherche au LNE, « cette valeur s'est avérée dépendre des impuretés présentes dans l'eau et de sa composition isotopique. Ce qui a contraint les métrologues à modifier à plusieurs reprises la technique, avec pour conséquence d'introduire une incertitude de



Dernière unité matérialisée, le Grand K (1 kg) est conservé sous trois cloches de verre et enfermé dans un coffre à trois clés à Sèvres (Hauts-de-Seine).

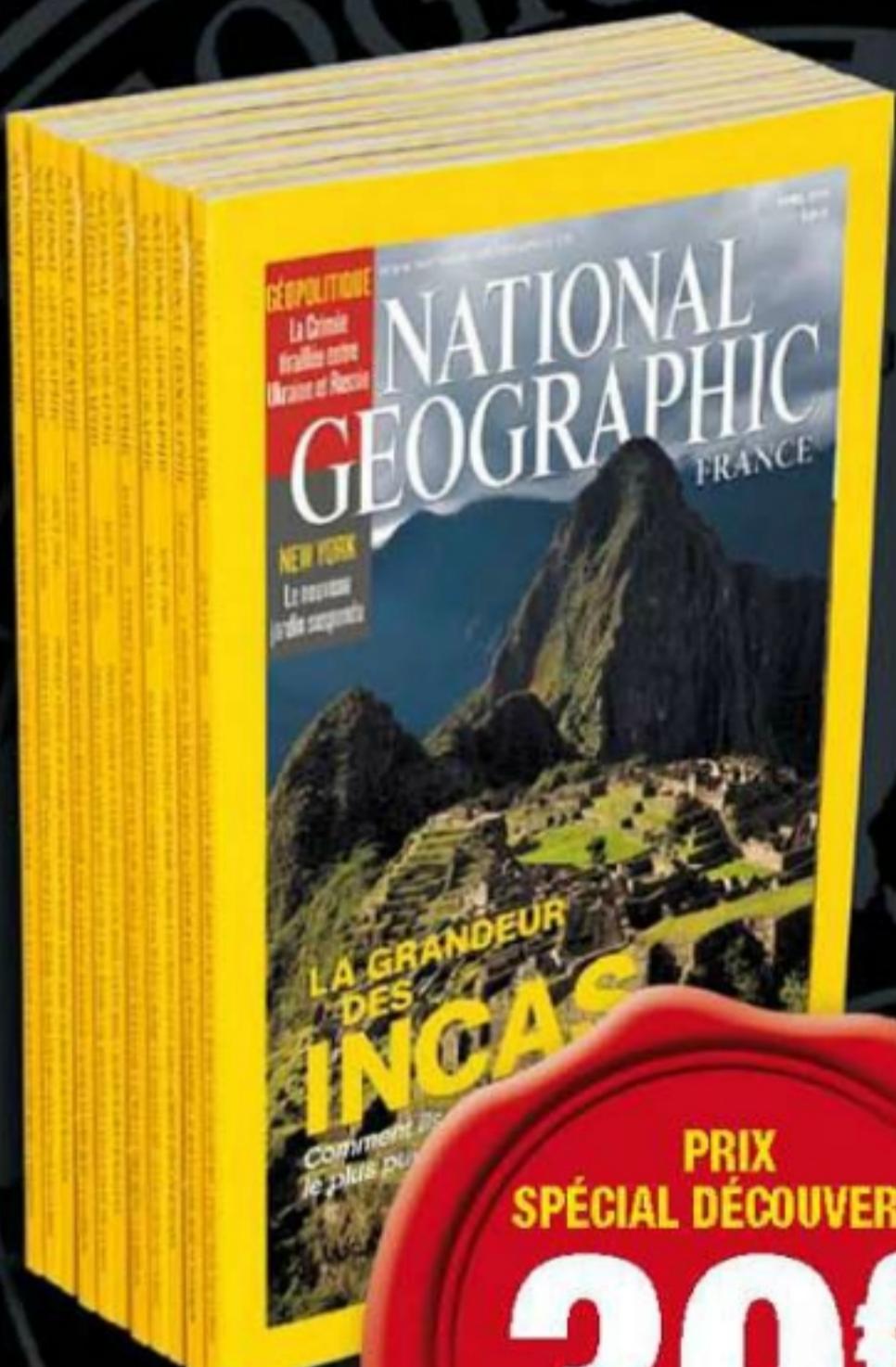
l'ordre de 2 millièmes de degrés sur toutes les mesures effectuées il y a plus de quarante-cinq ans ». Selon ce physicien, coinventeur d'un « thermomètre acoustique » susceptible de révolutionner la détermination du kelvin, tous les relevés de températures du fond des mers (environ 4 °C) des années 1950-1960 seraient bons à être jetés à la poubelle. Et tant pis pour les climatologues qui en auraient bien besoin aujourd'hui !

D'OÙ LES RECHERCHES ACTUELLES, qui ne visent plus seulement à gagner en précision sur la valeur des unités, mais aussi à les « accrocher » à des définitions valables sur le très long terme. Un besoin qui, estime Terry Quinn, auteur d'un livre à paraître sur l'histoire du BIPM, serait le reflet de notre époque. « Dans le temps, les gens se moquaient de réaliser des observations sur de grandes périodes. Mais aujourd'hui, des sciences comme la climatologie ou l'astronomie sont apparues, qui nécessitent des mesures stables sur le très long terme. C'est ce que nous voudrions leur donner. » □

► À CLIQUER

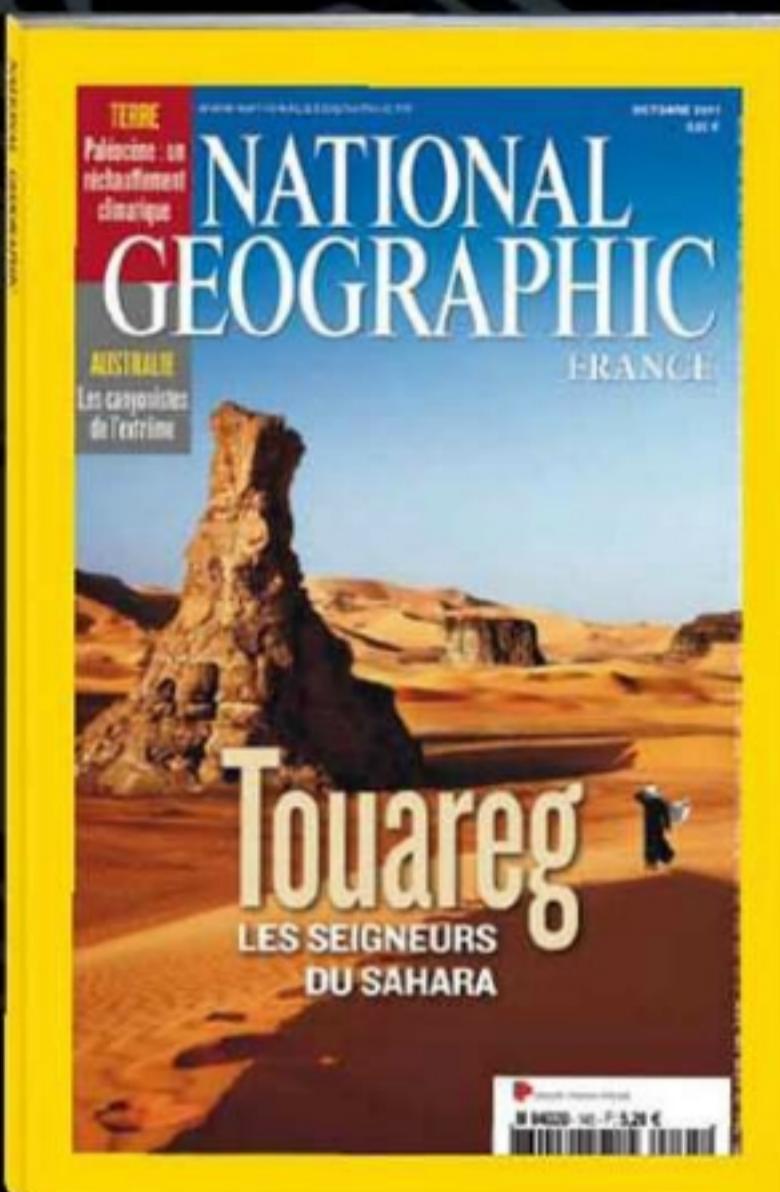
www.metrologie-francaise.fr
www.bipm.org
www.lne.fr

OFFRE EXCEPTIONNELLE



PRIX SPÉCIAL DÉCOUVERTE
39€
au lieu de 62,40€

Profitez de 37% d'économie



DÉCOUVERTE
ET EXPÉDITION !
AVENTURE ET
NATURE !
RÉFLEXION ET
CONNAISSANCE !

Abonnez-vous au Prix Spécial Découverte
et devenez ainsi membre de la légendaire
National Geographic Society !

Vous recevez un certificat d'adhésion personnel à la National Geographic Society : votre nom figurera ainsi
aux côtés d'explorateurs et de scientifiques éminents et de nombreuses personnalités.

Vous participez directement, via une partie de votre abonnement, au financement de projets faisant avancer
notre planète et au soutien de programmes d'éducation partout dans le monde.

Vous profitez avec chaque numéro de réductions et invitations chez les partenaires de National Geographic.

Des offres exclusives sur les produits de marque National Geographic vous sont personnellement réservées.

Le Président

BON D'ABONNEMENT

Bulletin à compléter et à retourner sans argent et sans affranchir à : National Geographic - Libre réponse 91149 - 62069 Arras Cedex 09
Vous pouvez aussi photocopier ce bon ou envoyer vos coordonnées sur papier libre en indiquant l'offre et le code suivant : NGS01N

OUI, je souhaite découvrir ou faire découvrir National Geographic (1 an/12 N°) au prix exceptionnel
de **39€** au lieu de **62,40€**. Je ne paie rien aujourd'hui et je réglerai à réception de facture.

Je note ci-dessous mes coordonnées :

Mr, Mme, Mlle Nom :

Prénom :

N° : Rue :

Code Postal :

Ville :

NGS01N

J'offre cet abonnement à :

Mr, Mme, Mlle Nom :

Prénom :

N° : Rue :

Code Postal :

Ville :

Je peux aussi m'abonner sur
www.prismashop.nationalgeographic.fr
ou au 0826 963 964 (0,15 €/mn.)

E-mail** _____

@ _____

Je souhaite être informé(e) des offres commerciales du groupe PRISMA PRESSE
et de celles de ses partenaires.

En m'abonnant je deviens membre
de la National Geographic Society
et je reçois mon certificat
d'adhésion personnalisé.

*Prix de vente au numéro : 5,20€ x 12 = 62,40€. **Facultatif. Offre réservée aux nouveaux abonnés en France métropolitaine, valable 2 mois. Délai de livraison du premier numéro : 4 semaines environ après enregistrement de votre règlement. Les informations ci-dessus sont indispensables au traitement par PRISMA PRESSE de votre abonnement. A défaut, votre abonnement ne pourra être mis en place. Ces informations sont communiquées à des sous-traitants pour la gestion de votre abonnement. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amenés à recevoir des propositions des partenaires commerciaux du groupe PRISMA PRESSE. Si vous ne le souhaitez pas, vous pouvez cocher la case ci-contre Vous disposez d'un droit d'accès, de rectification et d'opposition pour motifs légitimes aux informations vous concernant auprès du groupe PRISMA PRESSE.

>L'HOMME À L'ÉTUDE

DANS LA TÊTE

ILS SONT CAPRICIEUX, IMPULSIFS, EXASPÉRANTS...

PAR DAVID DOBBS PHOTOGRAPHIES DE KITRA CAHANA



SAISIE
dans le rétroviseur
de la camionnette
de ses parents, Amy,
élève en terminale,
attend à un feu rouge
dans le centre ville
d'Austin, au Texas.

DES ADOS

QU'EST-CE QUI CLOCHE CHEZ EUX ?



POURQUOI
LES **ADOLESCENTS**
SE COMPORTENT-ILS
AINSI ? EN TERMES
D'ÉVOLUTION, LEURS
TRAITS LES PLUS
IRRITANTS SONT
PEUT-ÊTRE LA CLÉ
DE LEURS FUTURS
SUCCÈS D'ADULTES.

>L'HOMME À L'ÉTUDE



Autre caractéristique de l'adolescent:
sa préférence pour la compagnie
des gens de **SON ÂGE** plutôt que pour
celle des enfants et des adultes.



ASPERGÉ
de peinture fluo
qui brille sous
la lumière ultra-
violette, Austin
(au centre)
a trouvé sa voie
et étudie l'éclai-
rage de scène
à l'université.



À L'HEURE du déjeuner, un adolescent montre ses talents dans la pratique du parkour, sport urbain très prisé.

« Les jeunes gens sont ÉCHAUFFÉS par la nature comme les ivrognes par le vin », concluait Aristote.

PAR UNE BELLE journée de mai, mon fils de 17 ans m'appela pour me dire qu'il venait de passer deux heures au commissariat. Apparemment, il conduisait « un peu vite ». « Un peu vite ? », ai-je demandé. J'ai alors compris que le produit de mes gènes et de mes soins attentifs, l'enfant bientôt homme que j'avais langé, dorloté et écouté gazouiller... roulait à 182 km/h sur l'autoroute. « C'est plus qu'un peu vite », ai-je dit. Ce qu'il m'a concédé. Il paraissait sombre et penaud.

Il n'a rien objecté quand je lui ai annoncé qu'il devrait payer une amende et probablement un avocat. Il n'a pas davantage réagi quand j'ai tenu à préciser qu'à cette vitesse, n'importe quoi – un chien sur la chaussée, un pneu crevé... – pouvait être fatal. Il se montrait si raisonnable que c'en était presque agaçant. Il a même suggéré que le policier avait bien fait de l'intercepter parce qu'« on ne peut pas tous faire du 182 ». Toutefois, il protestait sur un point : il n'appréciait pas l'assignation pour conduite imprudente. « Eh bien, ai-je répliqué, trouvant la brèche où laisser éclater ma colère, comment qualifies-tu cela ? » « Le terme imprudent implique que

je ne faisais pas attention, a-t-il répondu calmement. Or j'étais très concentré. J'ai fait de la vitesse délibérément, sur une portion d'autoroute sèche et avec une bonne visibilité, en plein jour et sans voiture devant. Je crois que c'est ce que je veux te faire comprendre. Si cela peut t'aider à te sentir mieux. J'étais vraiment concentré. » Et en effet, je me suis senti mieux. Mais je ne savais pas pourquoi et cela me tracassait. Aujourd'hui, je sais. Ceux qui s'intéressent à la catégorie d'humains que nous nommons adolescents se posent cette question depuis longtemps : que diable fabriquait-il ? Qu'est-ce qui cloche chez ces enfants ?

DEPUIS LA NUIT DES TEMPS, les réponses mentionnent les forces sombres qui s'en prennent aux adolescents. Il y a plus 2 300 ans, Aristote concluait : « Les jeunes gens sont échauffés par la nature comme les ivrognes par le vin. » Ce constat imprègne la plupart des recherches modernes. En 1904, le psychologue américain G. Stanley Hall estimait que cette période tourmentée reproduisait des phases antérieures et moins civilisées du développement humain. Freud en faisait le moment d'un horrible conflit psycho-sexuel ; le psychanalyste Erik Erikson la tenait pour la plus tumultueuse des crises d'identité qui ponctuent la vie.

L'adolescence : toujours un problème. Cette conception a duré jusqu'à la fin du xx^e siècle. Les chercheurs ont alors mis au point l'imagerie cérébrale, qui leur a permis de voir le cerveau avec assez de détails pour observer tant son développement physique que ses modèles d'activité. Cette technologie posait la même vieille question : qu'est-ce qui ne va pas ? La réponse a surpris presque tout le monde : notre cerveau a besoin de plus de temps que prévu pour se développer. Une découverte *a priori* simpliste et peu flatteuse, mais au fond complexe et finalement positive.

LA PREMIÈRE SÉRIE complète de scans – un programme du National Institutes of Health (NIH) portant sur l'étude d'une centaine de jeunes dans les années 1990 – a établi que le cerveau subit une réorganisation majeure entre 12 et 25 ans. Pendant cette période, il ne grossit plus guère. En fait, il a atteint 90 % de sa taille définitive à l'âge de 6 ans ; le principal facteur du grossissement de la tête est alors l'épaisseur de la boîte crânienne. Mais à l'adolescence, le cerveau subit un réagencement complet, comparable à ce que produirait l'installation d'une nouvelle version d'un système informatique.

D'abord, les axones – les longues fibres neuronales par lesquelles les signaux transitent vers un autre neurone – sont progressivement recouverts d'une substance grasse nommée myéline (la matière blanche du cerveau). À terme, la myéline permet de multiplier par cent la vitesse de transmission de l'influx nerveux. Pendant ce temps, les dendrites – les extensions en forme de branches des neurones, par lesquelles ces signaux leur parviennent – se multiplient. Parallèlement, les synapses – les petits points de jonction chimiques entre deux cellules nerveuses – les plus souvent utilisées s'enrichissent et se renforcent, tandis que celles qui sont sous-employées commencent à s'atrophier. Cet « élagage synaptique » provoque l'amincissement du cortex cérébral – la couche extérieure de matière grise où s'élabore une grande partie de notre pensée consciente –, tout en le rendant plus efficace. Ces changements cumulés font du cerveau un organe plus rapide, plus sophistiqué.

On croyait ce processus de maturation largement achevé vers l'âge de 6 ans, mais il se poursuit jusqu'à l'adolescence. Les travaux d'imagerie effectués depuis les années 1990 prouvent que les changements physiques du cerveau s'accomplissent telle une vague lente, de l'arrière vers l'avant ; et des zones proches de l'avant – qui contrôlent et régulent des fonctions plus anciennes et plus comportementales, comme la vision, le mouvement et les processus sensoriels de

décision et d'interprétation instinctive – vers les zones de pensée plus récentes et plus complexes en termes d'évolution situées dans le lobe frontal. Le corps calleux, qui relie les hémisphères gauche et droit du cerveau et transporte des informations essentielles à de nombreuses fonctions cérébrales supérieures, s'épaissit peu à peu. Des liens plus forts se nouent entre l'hippocampe, sorte de répertoire mémoriel, et les zones frontales, qui définissent les buts et évaluent les urgences dans le processus de décision intégrant nos souvenirs et nos expériences passées. Les zones frontales développent aussi des connexions plus rapides et plus efficaces, nous permettant d'imaginer bien plus de possibilités qu'auparavant. Lorsque ce processus de maturation s'effectue normalement, nous évaluons mieux nos impulsions, nos désirs, nos buts, nos intérêts, les règles, l'éthique et même l'altruisme, ce qui suscite un comportement plus complexe, plus raisonnable dans certains cas. Mais il arrive, surtout au début du processus, que le cerveau accomplit ces tâches maladroitement. Ce n'est pas sans mal que les nouveaux rouages s'adaptent les uns aux autres.

BEATRIZ LUNA, professeure à l'université de Pittsburgh, utilise l'imagerie médicale pour étudier le cerveau des adolescents. Elle leur fait passer un test simple, qui met en évidence la courbe d'apprentissage. Installés devant l'ordinateur, ils doivent fixer l'image d'une croix sans se laisser distraire par des flashes lumineux apparaissant dans un coin de l'écran. La consigne leur est même donnée de regarder dans la direction opposée. Des capteurs suivent les mouvements des yeux et l'activité cérébrale. Comparés à leurs aînés, les jeunes adultes ont tendance à moins utiliser les zones cérébrales qui contrôlent la performance, repèrent les erreurs et permettent de rester concentrés. Ils ont du mal à résister à l'impulsion de regarder la lumière intermittente – comme lorsqu'ils ont tendance à lire un texto en conduisant.

À partir de 20 ans, leur cerveau réagit pratiquement comme celui des adultes. Luna suppose que cela est dû à une amélioration des réseaux et des connexions dans le cerveau, qui rend les zones stimulées plus efficaces. Curieusement, ces travaux aident à comprendre leurs sautes d'humeur : charmants au déjeuner, hargneux au dîner, organisés le lundi, brouillons le samedi. En fait, en plus du manque d'expérience, ils apprennent à utiliser les nouvelles capacités de leur cerveau au fonctionnement vite perturbé par le stress, la fatigue, les nouveaux challenges... C'est ce qu'Abigail Baird, psychologue d'adolescents à Vassar (États-Unis), nomme la gaucherie neuronale : l'équivalent de la maladresse physique dont fait parfois preuve l'adolescent pendant qu'il ▶

La pléthore d'articles de presse qui présentent ces jeunes comme des « **TRAVAUX EN COURS** » conduisent certains experts à se demander si l'adolescent n'est pas proche d'un « attardé mental ».

« **DIRE À UN ADO** à quoi il doit s'intéresser est la dernière chose à faire, et le plus sûr moyen de le faire fuir », confie la neuro-scientifique B. J. Casey.





apprend à maîtriser son corps. La courbe de développement, lente et inégale, que révèle l'imagerie, explique pourquoi les adolescents font des choses stupides. Parce que leur cerveau n'est pas fini. Les scans le montrent ! Ce point de vue, de même que la pléthore d'articles de presse qui présentent ces jeunes comme des « travaux en cours », conduisent certains experts à se demander si le jeune n'est pas proche d'un « attardé mental ». Cependant, cet article raconte une histoire scientifique différente. Ces cinq ou six dernières années, alors que se propageait le modèle du « travail en cours », les études consacrées à ce sujet sont devenues plus sophistiquées. Quelques chercheurs, manifestement influencés par la théorie de l'évolution, se sont mis à considérer les découvertes récentes sur le cerveau et la génétique sous un angle plus inventif et flatteur. Selon l'interprétation qui en résulte – appelons-la « théorie de l'adaptabilité de l'adolescence » –, l'adolescent est moins un brouillon d'adulte qu'une créature profondément adaptable, et d'une sensibilité délicate. Un individu équipé presque à la perfection pour passer de la sécurité du foyer familial à la complexité du monde extérieur.

Cette vision plaira beaucoup aux adolescents. Plus important, elle convient mieux au principe le plus fondamental de la biologie, celui de la sélection naturelle, qui n'est pas tendre envers les dysfonctionnements soi-disant caractéristiques de cette tranche de vie. Si cet âge n'en est qu'une accumulation – angoisse existentielle, impulsivité, confusion irresponsable –, comment ces dysfonctionnements ont-ils donc pu survivre à la sélection naturelle ? La réponse est que ces traits de caractère qui nous dérangent ne sont pas la principale spécificité de l'adolescence ; ils nous frappent parce qu'ils nous agacent ou mettent nos enfants en danger. B. J. Casey, neuroscientifique au Weill Cornell Medical College (États-Unis), a consacré une décennie à l'étude du cerveau et à la génétique pour mieux comprendre l'adolescence. « Plus nous en savons sur ce qui rend cette période de la vie unique, plus elle paraît extrêmement fonctionnelle, voire adaptable, explique-t-elle. C'est précisément ce dont vous aviez besoin pour faire les choses que vous deviez faire alors. »

SI NOUS VOULONS DÉPASSER l'image de l'adolescent distrait et ahuri, et imaginer la personnalité adaptable qu'il dissimule, nous devons observer non pas les comportements spécifiques parfois surprenants – descendre les escaliers avec une planche à roulettes, par exemple –, mais les caractéristiques plus larges qui les sous-tendent. Commençons par son attrait pour ce qui le fait frissonner. La recherche de sensations n'est pas toujours impulsive. On peut planifier délibérément

une expérience de sensations – sauter en parachute, ou foncer sur l'autoroute, comme mon fils. Souvent, l'impulsivité baisse avec l'âge ; elle commence vers 10 ans et atteint un pic à 15. Et, bien qu'elle génère des comportements dangereux, elle peut avoir des effets positifs. Le besoin impérieux de rencontrer plus de gens, par exemple. Cet aspect positif explique sans doute pourquoi le désir de nouveauté, même s'il peut être fatal, domine dans son développement. La recherche de sensations nourrit l'inspiration nécessaire pour s'« expulser de la maison » et explorer un terrain vierge.

AUTRE TRAIT DOMINANT et corollaire de cette tranche d'âge (celui qui soulève peut-être le plus d'inquiétudes chez les adultes) : la prise de risque, plus importante dans cette période-là qu'à toute autre époque de notre vie. Ceci se vérifie en laboratoire, mais aussi dans le quotidien : c'est entre 15 et 25 ans qu'elle atteint son maximum. Un fort pourcentage de ce groupe d'âge meurt d'accidents de tous types (autres que ceux du travail). En France, plus de 60 % des ados qui décèdent chaque année sont tués dans un accident de la route. La plupart des drogués et des alcooliques invétérés commencent à l'adolescence. Même ceux qui, adultes, ont un comportement responsable envers la boisson, ont souvent beaucoup bu pendant cette période. Aux États-Unis, où l'on conduit dès l'âge de 16 ans, le tiers des décès d'adolescents est dû à des accidents de la route impliquant la consommation d'alcool.

Comment peuvent-ils être à ce point stupides ? Selon l'explication conventionnelle, ils ne réfléchissent pas. Ou, pour s'en tenir au modèle du « travail en cours », leur cerveau immature leur joue de sales tours.

Laurence Steinberg, psychologue du développement de l'adolescence à la Temple University, estime au contraire que les 14-17 ans (les plus gros preneurs de risques) utilisent les mêmes stratégies cognitives que les adultes, et résolvent leurs problèmes aussi bien qu'eux. Contrairement à la croyance commune, les adolescents eux aussi se savent mortels. Et, ajoute Steinberg, comme les adultes, « ils surestiment effectivement les risques ». Dans ce cas, pourquoi en prennent-ils plus que leurs aînés ? Ici encore, le problème n'est pas ce que les ados ont en moins que les adultes, mais ce qu'ils ont en plus. Dans une situation où le risque peut lui apporter quelque chose qu'il désire, l'adolescent investit dans la récompense beaucoup plus que l'adulte.

Le jeu vidéo utilisé par Steinberg illustre parfaitement cet état de fait. Vous devez traverser une ville aussi vite que possible en voiture. Comme dans la réalité, à mesure que vous approchez, les feux de circulation passent au orange, vous imposant une décision immédiate. Vous

LES ADOS EN FRANCE

■ **6,4 %**
de la population française (4 millions d'individus) sont des ados de 15 à 20 ans.

■ **10 %** d'entre eux boivent régulièrement de l'alcool.

■ **25 %**
des décès en France concernent des ados.

■ **12 %**
des ados souffraient, en 2009, de troubles mentaux.

Le problème n'est pas ce que les ados **ONT** EN MOINS que les adultes, mais ce qu'ils ont en plus.

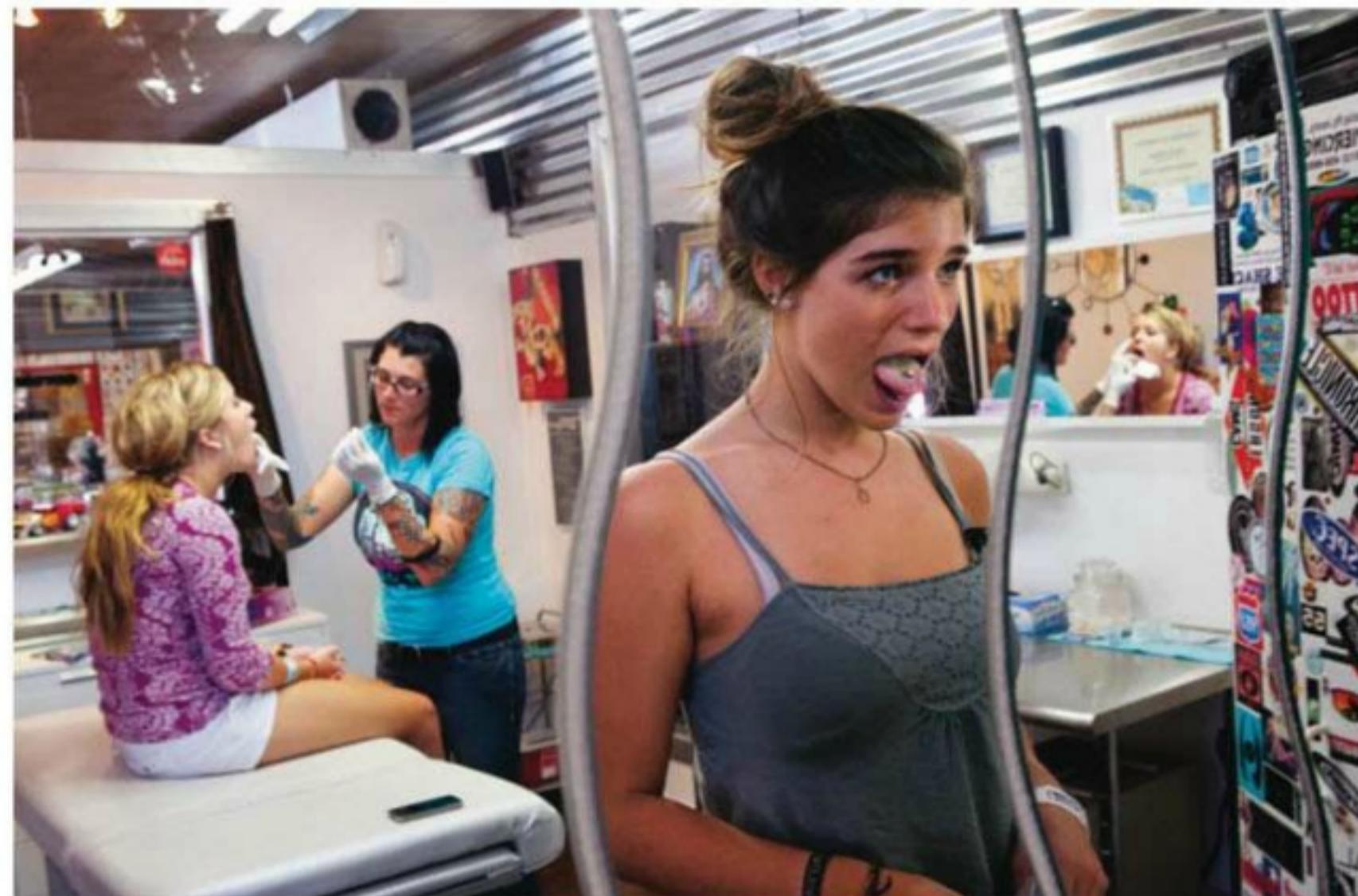
gagnez du temps et des points si vous passez avant le rouge. Mais si vous échouez, vous perdez plus de temps que si vous vous étiez arrêté. Le jeu vous favorise si vous prenez une certaine quantité de risques, il vous punit si vous en prenez trop.

Lorsque les adolescents sont seuls au volant dans ce que Steinberg nomme la situation émotionnellement « neutre » d'une pièce vide, ils courrent autant de dangers que les adultes. Mais lorsque Steinberg fait entrer dans la pièce un ami du jeune conducteur, ce dernier prend deux fois plus de risques et brûle des feux devant lesquels il s'était arrêté auparavant. Les adultes, eux, ne changent pas de comportement.

« Ils ont pris davantage de risques parce qu'ils accordaient plus de poids à la récompense : ils voulaient impressionner leurs copains », explique le chercheur.

POUR STEINBERG ET CASEY, ce comportement a été sélectionné au cours de l'évolution parce qu'à cette période de la vie, la témérité favorise l'adaptation. « Plus vous cherchez la nouveauté et prenez des risques, explique Baird, plus vous réussissez. » Cette réponse à la récompense agit comme le désir de nouvelles sensations : elle pousse vers l'inconnu.

Le test de conduite de Steinberg laisse imaginer que, généralement, les adolescents répondent fortement aux récompenses sociales. La physiologie et la théorie de l'évolution expliquent l'une et l'autre cette tendance. Sur le plan physiologique, l'adolescence stimule au maximum la réactivité du cerveau à la dopamine, un neurotransmetteur qui amorce et active le circuit de la récompense, et contribue apparemment à l'élaboration de modèles de prises de décision. Voilà qui explique la rapidité de l'apprentissage chez ces jeunes, ainsi que leur extraordinaire réceptivité à la récompense – mais



UN DÉFI. Taylor (à droite) ne se serait pas fait percer la langue si sa meilleure amie ne lui avait promis une « aventure excitante et effrayante ». Elle a essayé de cacher le piercing à ses parents. En vain. Des mois plus tard, elle a ôté le bijou pour une nuit. Le trou s'est refermé.

aussi l'intensité de leurs réactions, parfois mélodramatiques, en cas de succès ou d'échec.

Leur cerveau est également sensible à l'ocytocine, une hormone neuronale qui établit (entre autres) des connexions sociales gratifiantes. Le réseau neuronal et les dynamiques associées à la récompense et aux interactions sociales sont intimement liés. Activez l'un, et vous activez l'autre. Activez-les durant l'adolescence, et vous allumez un incendie.

Ainsi s'explique cette autre caractéristique de l'adolescent : sa préférence pour la compagnie des gens de son âge plutôt que pour celle des enfants et des adultes. De la nouveauté, l'ado en offre à l'ado bien plus que sa famille. Car nous entrons dans un monde fabriqué par nos parents, mais nous vivrons la plus grande partie de nos vies, et nous prospérerons (ou non) dans un monde dirigé et remodelé par notre classe d'âge. L'apprentissage, la compréhension et la construction de relations avec nos pairs jouent dès lors un rôle crucial dans notre réussite future. Les études au scanner montrent que nos cerveaux réagissent à l'exclusion des ▶

CE QUE DIT LA NEUROBIOLOGIE

Qu'est-ce que l'adolescence ?

Les scientifiques considèrent que cette période de la vie, encore mal définie, concerne les jeunes de 12 à 20 ans. Durant cette étape, les zones frontales du cerveau, impliquées entre autres dans les émotions, sont en pleine restructuration. Un peu comme si leur « logiciel d'exploitation » était régulièrement remis à jour.

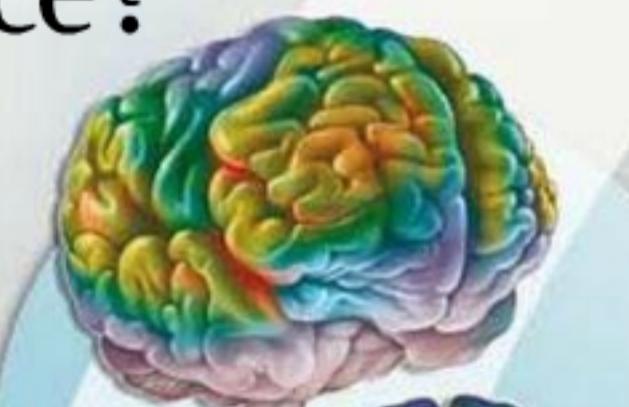
PAR CLAIRE LECOEUVRE INFOGRAPHIES DELPHINE BAILLY

DES ÉNIGMES DÉMEURENT...

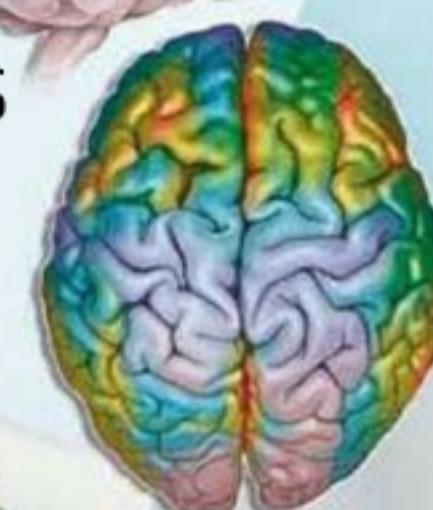
Les différentes méthodes d'observation du cerveau, telle l'imagerie par résonance magnétique (IRM), ne détectent pas tout. Celle-ci n'est qu'un cliché pris à un instant donné. Difficile donc de bien comprendre les causes des modifications cérébrales. À cette difficulté s'ajoute celle de relier les fonctions des diverses zones du cerveau aux comportements observés chez les adolescents. Pour compléter les résultats apportés par l'imagerie, les scientifiques utilisent donc des questionnaires neuropsychologiques (tests de logique, par exemple), ainsi que de nouvelles techniques d'observation. Elles donnent des indices supplémentaires pour confirmer les hypothèses actuelles.

La maturation du cerveau est représentée ici par quatre couleurs : du rouge pour les zones les plus immatures, on passe au jaune, au bleu et enfin au violet.

5 ANS



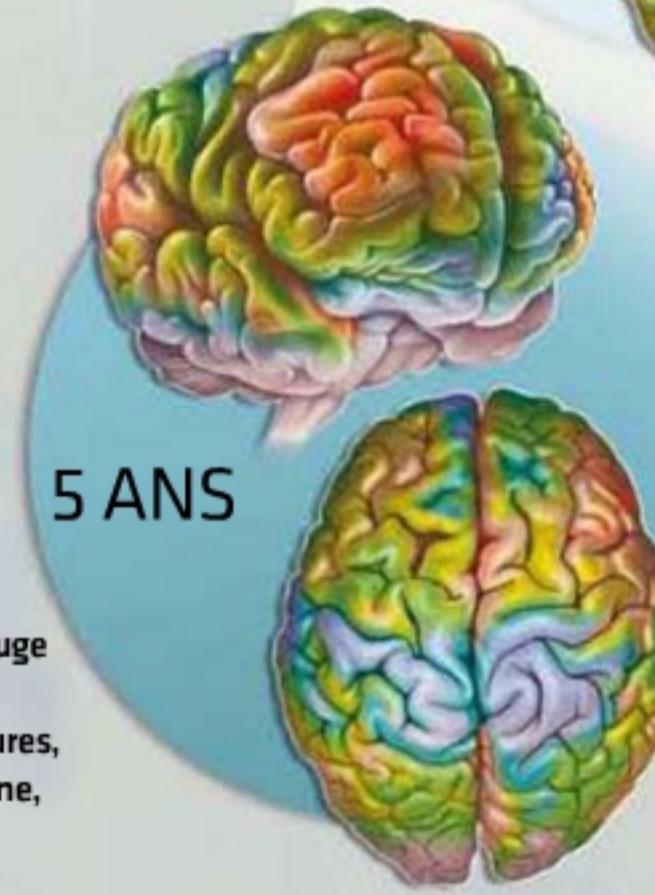
8 ANS



12 ANS



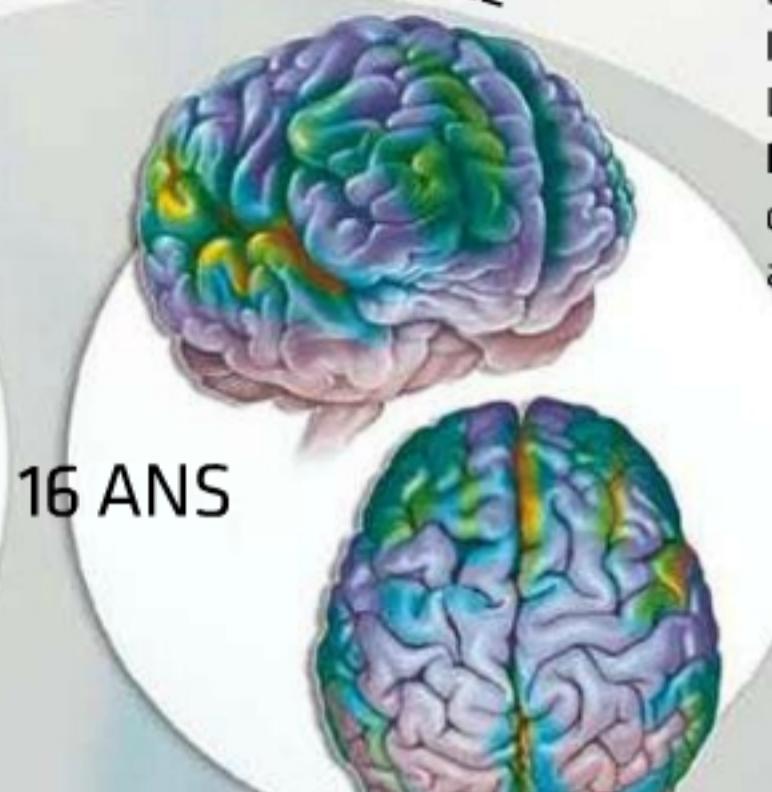
5 ANS



DIMINUTION APPARENTE DE SUBSTANCE GRISE

Le cerveau moyen ci-contre (réalisé à partir de 314 adolescents de 12 à 20 ans) révèle, en jaune, un amincissement de la couche la plus externe du cerveau, le néocortex. La substance grise, dans cette zone, semble diminuer. D'après l'hypothèse privilégiée aujourd'hui, l'observation serait trompeuse. En réalité, la myéline, qui englobe les axones, augmenterait, donnant une couleur plus claire à la substance grise. Cette densification de myéline améliorerait le passage des influx nerveux.

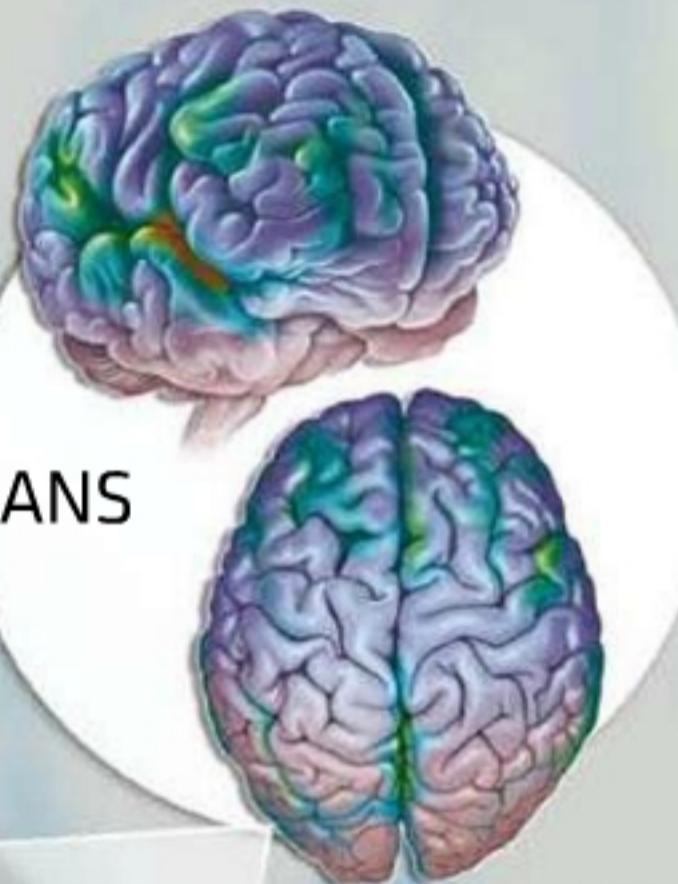
MATURATION CÉRÉbraLE



UN CERVEAU EN MUTATION CONTINUE

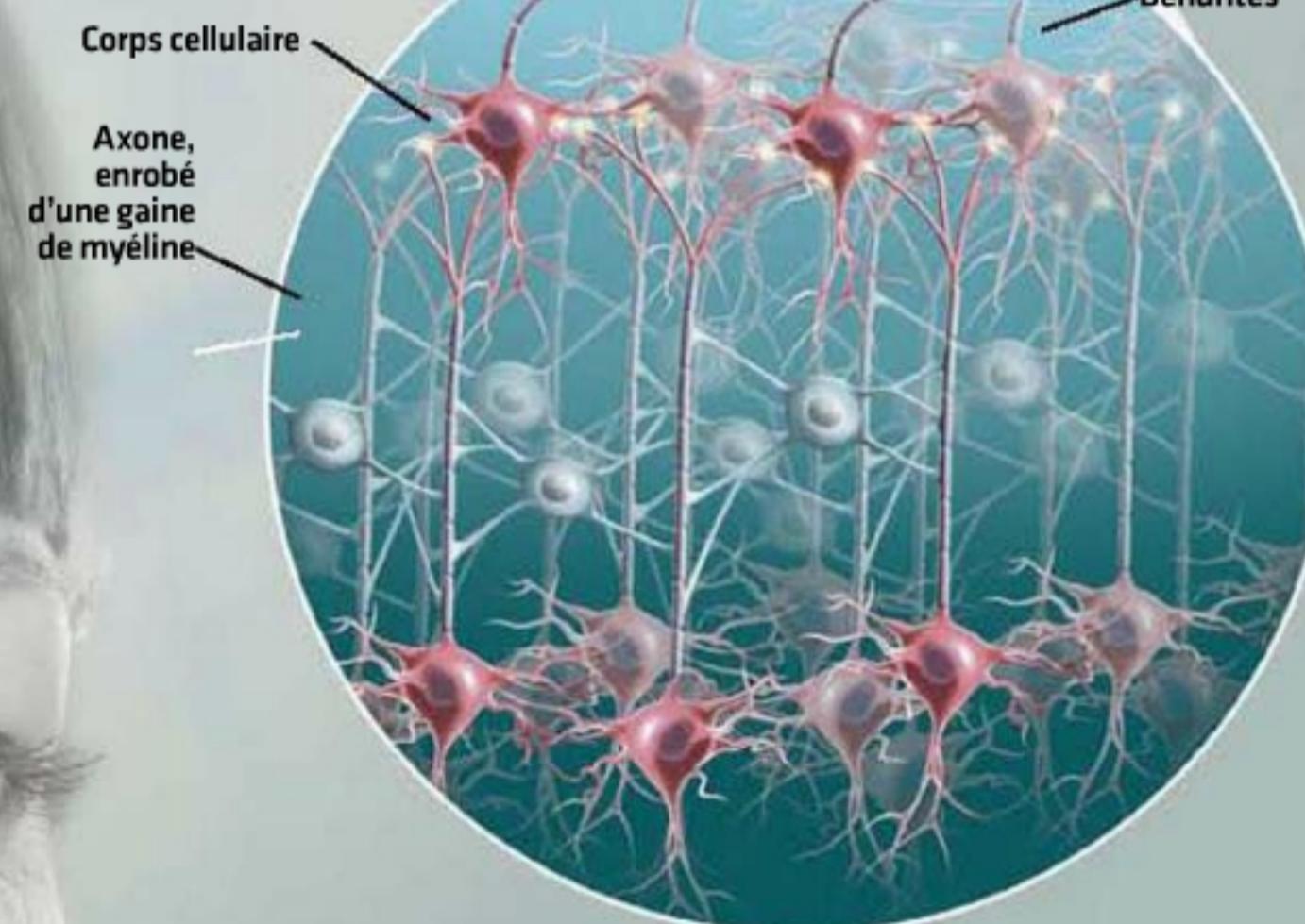
D'après les nombreuses études neurobiologiques, la maturation cérébrale se réalise de l'arrière vers l'avant. Les lobes frontaux, impliqués dans la **coordination motrice, la mémoire, la cognition et les émotions**, terminent leur développement en dernier. Mais le cerveau s'adapte sans arrêt aux stimuli extérieurs. Il évolue donc toujours.

20 ANS



LES RECHERCHES ACTUELLES

En Europe, le projet **Imagen** – qui a débuté en 2007 pour une durée de cinq ans – s'intéresse aux maladies mentales détectées chez les adolescents, ainsi qu'aux comportements à risque. Le projet européen **Alcobinge** se penche sur les effets neurologiques du « binge drinking » (ivresse rapide). Trois laboratoires y travaillent : les universités d'Amiens, de Rouen, du Sussex (Royaume-Uni).



COMMENT SE CONSTITUE LE CERVEAU ?

LA SUBSTANCE BLANCHE est principalement constituée de fibres nerveuses : les **axones**. Une **gaine de myéline** enveloppe la plupart de ces liaisons neuronales et régule la vitesse des flux nerveux. La myéline donne aussi la couleur claire à la substance blanche.

LA SUBSTANCE GRISE, elle, correspond aux **corps cellulaires** et aux **dendrites** (prolongements) des neurones, ainsi qu'à certaines **cellules gliales** (petites cellules nutritives).



LEADERS SUR LA TOUCHE « Les adultes peuvent guider les adolescents comme des chefs d'orchestre, des coaches et des meneurs », explique la neuroscientifique B. J. Casey. « Il faut seulement savoir quand se mettre en retrait et laisser l'adolescent faire le travail. »

En termes scientifiques, les adolescents sont des ENQUIQUEURS. Mais ils se distinguent du reste des humains par leurs capacités d'adaptation hors pair.

nôtres comme à une menace sur l'intégrité physique ou sur les réserves de nourriture. Nous déplorons qu'ils réagissent aux hauts et bas sociaux comme si leur destin en dépendait. Mais ils ont raison, c'est le cas.

En fait, s'agit-il seulement de recherche d'excitation, de nouveautés, de risques, ou bien de faire de nouvelles bêtises avec des amis ? À y regarder de plus près, les principales caractéristiques de ce groupe d'âge nous rendent plus adaptables à la fois comme individus et en tant qu'espèce. Les anthropologues ont découvert que toutes les cultures à la surface du globe reconnaissent l'adolescence comme une période particulière privilégiant la nouveauté, l'excitation et les pairs. Cette reconnaissance quasi-universelle nie l'idée qu'il s'agit d'une création culturelle.

BIEN ENTENDU, LA CULTURE façonne l'adolescence. Elle influence ses comportements spécifiques, voire sa durée. Et amplifie peut-être ses manifestations. Mais la culture ne la crée pas. Le caractère unique de ce groupe d'âge vient des gènes. Il tient à des processus de développement sélectionnés par des milliers de générations, pour le rôle important qu'ils jouent à cette période fondamentale de transition : la réalisation d'une créature parfaitement préparée pour quitter un abri sûr et s'aventurer en territoire inconnu.

En termes scientifiques, les adolescents sont des enquiquineurs. Mais ils se distinguent du reste des humains par leurs capacités d'adaptation hors pair. Cette vision, aussi fondée soit-elle, est dure à accepter, surtout pour des parents confrontés à des comportements éprouvants ou contrariants. On se réconfortera en les interprétant comme autant de manifestations d'un organisme qui apprend à négocier avec son environnement. Mais la sélection naturelle n'autorise aucune erreur. Le manque de rigueur peut avoir des conséquences tragiques. Nous ne courons pas le risque d'être dévorés par des léopards ou tués dans des combats rituels, mais nous payons cher les drogues, la boisson, la conduite automobile, le

crime. Mon fils s'épanouit à l'université, où il n'a pas besoin de voiture. Mais plusieurs de ses amis de lycée sont morts dans des accidents de la route. Bien sûr, nous, les parents, faisons des faux pas quand nous essayons de les aider. Des études montrent pourtant que quand nous communiquons avec nos ados et que nous les guidons d'une main souple mais ferme, préservant le lien tout en favorisant leur indépendance, nos enfants s'adaptent en général mieux à la vie. Les adolescents veulent apprendre de leurs amis, mais pas uniquement. À un certain niveau et à certains moments (c'est le rôle des parents de les détecter), ils reconnaissent que leurs géniteurs sèment des petites graines de sagesse – une connaissance qu'ils apprécieront non pas parce qu'elle vient de l'autorité, mais du combat des parents avec la réalité.

Entre-temps, dans les moments de doute, souvenez-vous d'une dernière caractéristique du cerveau de l'adolescent – l'ultime clé à la fois de sa maladresse et de sa remarquable faculté d'adaptation. Je veux parler de la longue période de plasticité des lobes frontaux, qui se développent tardivement et parviennent lentement à maturité. Comme on l'a noté plus haut, les lobes frontaux sont les dernières zones où se dépose la myéline graisseuse – la matière blanche isolante du cerveau, qui accélère les transmissions. Car ici, l'amélioration de la vitesse se fait au détriment de la souplesse. Alors qu'une couche de myéline accélère considérablement la bande passante d'un axone, elle empêche la croissance de nouvelles branches sur l'axone. Douglas Fields, neuroscientifique au NIH, l'explique ainsi : « La période où une zone du cerveau fixe la myéline est une sorte d'apprentissage crucial : le câblage est amélioré, mais une fois que c'est fait, il est plus difficile de changer. » La période la plus favorable à la réinitialisation des connexions diffère profondément selon les zones du cerveau. Les centres du langage acquièrent leur plus grande isolation au cours des treize premières années, quand l'enfant apprend sa langue maternelle. Une fois achevée, l'isolation renforce ces acquis, mais en autorise plus difficilement de nouveaux, par exemple l'apprentissage d'une seconde langue. Il en va de même de la myélinisation des lobes frontaux, qui intervient vers l'âge de 20 ans. Cet achèvement retardé augmente la flexibilité du cerveau au fur et à mesure que nous nous préparons à entrer dans le monde des adultes.

Cette longue vague de croissance s'achève vers 25 ans ; elle est sans doute spécifique à l'humain, et ses conséquences sont incalculables. Il peut paraître assez fou que nous commençons à agir de manière responsable si tard dans la vie. Mais si nous étions intelligents plus tôt, nous serions le moins ensuite. □

ADOS DANS LE MONDE

■ La population mondiale est composée à 20 % de 15-20 ans.

■ 85 % d'entre eux vivent dans des pays en voie de développement.

■ Le suicide est la 2^e cause de décès pour les ados.

SCIENCES EN SÉRIE

Nombre de séries télévisées regorgent de références scientifiques. Ces fictions reflètent l'intérêt que chacun porte à la science.

PAR CLAIRE LECOEUVRE

Homer, le père de famille des *Simpson*, promène son ventre jaune rebondi dans une dimension parallèle, découverte alors qu'il se cachait dans un placard. Derrière lui, des formules mathématiques défilent subrepticement. À la suite d'une addition basique, « $1+1=2$ », s'affiche une équation des plus complexes. Elle dément un théorème sur les nombres entiers pourtant approuvé par les plus éminents mathématiciens d'aujourd'hui... Étonnant ? Pas tant que ça. À l'instar de cet épisode baptisé « Horror Show », le dessin animé *Les Simpson* regorge de références scientifiques, parfois difficiles à détecter. Et comme lui, bien d'autres séries se servent de la science pour nourrir leurs intrigues : *The Big Bang Theory*, *Breaking Bad*, *Numbers*, *Les Experts*, *Dexter*, *Dr House...*

VÉRITABLE PHÉNOMÈNE DE SOCIÉTÉ, ces séries (principalement américaines) intéressent aujourd'hui les sociologues. « Elles permettent de décoder la façon dont la science fait partie de la culture populaire », explique Matteo Merzagora, chercheur au laboratoire Traces (Théories et réflexions sur l'apprendre, la communication et l'éducation scientifiques). Son étude fait un constat : les sciences séduisent le plus grand nombre, d'autant que les questions médicales,



énergétiques ou environnementales font partie du quotidien de chacun. Les producteurs s'inspirent de la réalité pour mieux toucher le public. Après la catastrophe nucléaire de Tchernobyl, en 1986, *Les Simpson* abordent le sujet. Le père de famille, Homer, travaille comme agent de sécurité dans la centrale nucléaire qui alimente toute la ville de Springfield. Sa faraïneuse propension à causer des catastrophes le conduit, dans l'épisode « une belle simpsonnerie », à s'endormir devant son poste de contrôle. La surchauffe du réacteur nucléaire déclenche l'alarme et panique toute la ville. Par chance, Homer évite la fusion du



HOMER SIMPSON
est agent de sécurité à la centrale nucléaire de Springfield. Véritable cauchemar pour la population, il n'a de cesse de provoquer des catastrophes.

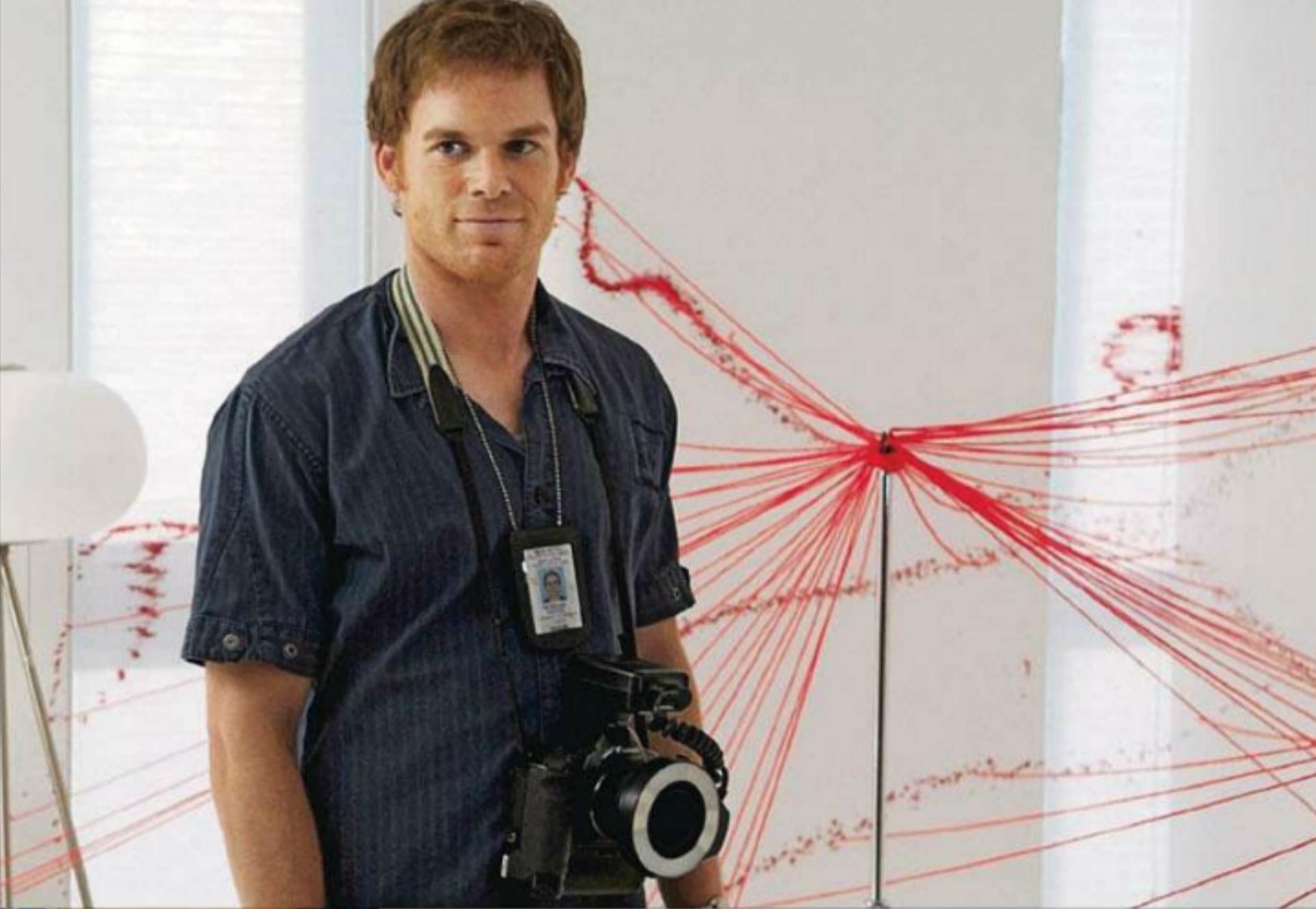
MATT GROENING 20TH CENTURY FOX

VÉRITABLE PHÉNOMÈNE DE SOCIÉTÉ, CES SÉRIES INTÉRESSENT AUJOURD'HUI LES CHERCHEURS

réacteur. Son patron le complimentera, en mode ironique : « Vous avez fait d'un Tchernobyl un simple Three Mile Island. Bravo ! » Cette autre catastrophe, survenue aux États-Unis en 1979, reste l'un des plus graves accidents nucléaires.

En coulisses, beaucoup de matière grise est mobilisée pour attirer le public. Marco Malaspina, auteur d'un

ouvrage sur la science dans *Les Simpson*, recense au moins huit diplômés de Harvard – en mathématiques, physique, neurosciences... –, recrutés en tant que scénaristes. L'un d'entre eux, David Cohen, est à l'origine d'une équation qui semble démentir un vrai théorème mathématique, publié quelques mois avant la diffusion de l'épisode « Horror Show ». Le scénariste a passé un ▶



SHOWTIME/COLLECTION CHRISTOPHEL

DEXTER MORGAN

analyse
les traces
de sang
sur les lieux
du crime
pour
retrouver
les meurtriers.
Et les tuer.



BCA/RUE DES ARCHIVES

CATHERINE WILLOWS

apparaît comme la spécialiste des analyses de sang dans la série *Les Experts*.

PHOTOMONTAGE : NICK KUDOS/GETTY IMAGES

EN UTILISANT LES ÉMOTIONS DES TÉLÉSPECTATEURS, LES SÉRIES INFLUENCENT LE PUBLIC

temps fou à créer le logiciel qui lui permettrait de démontrer ce théorème. Mais en réalité, sa « solution », bâtie de toutes pièces, n'est qu'approximative. Néanmoins, beaucoup se sont laissé prendre au piège. Car l'impression d'exactitude scientifique permet de rendre crédible n'importe quelle histoire.

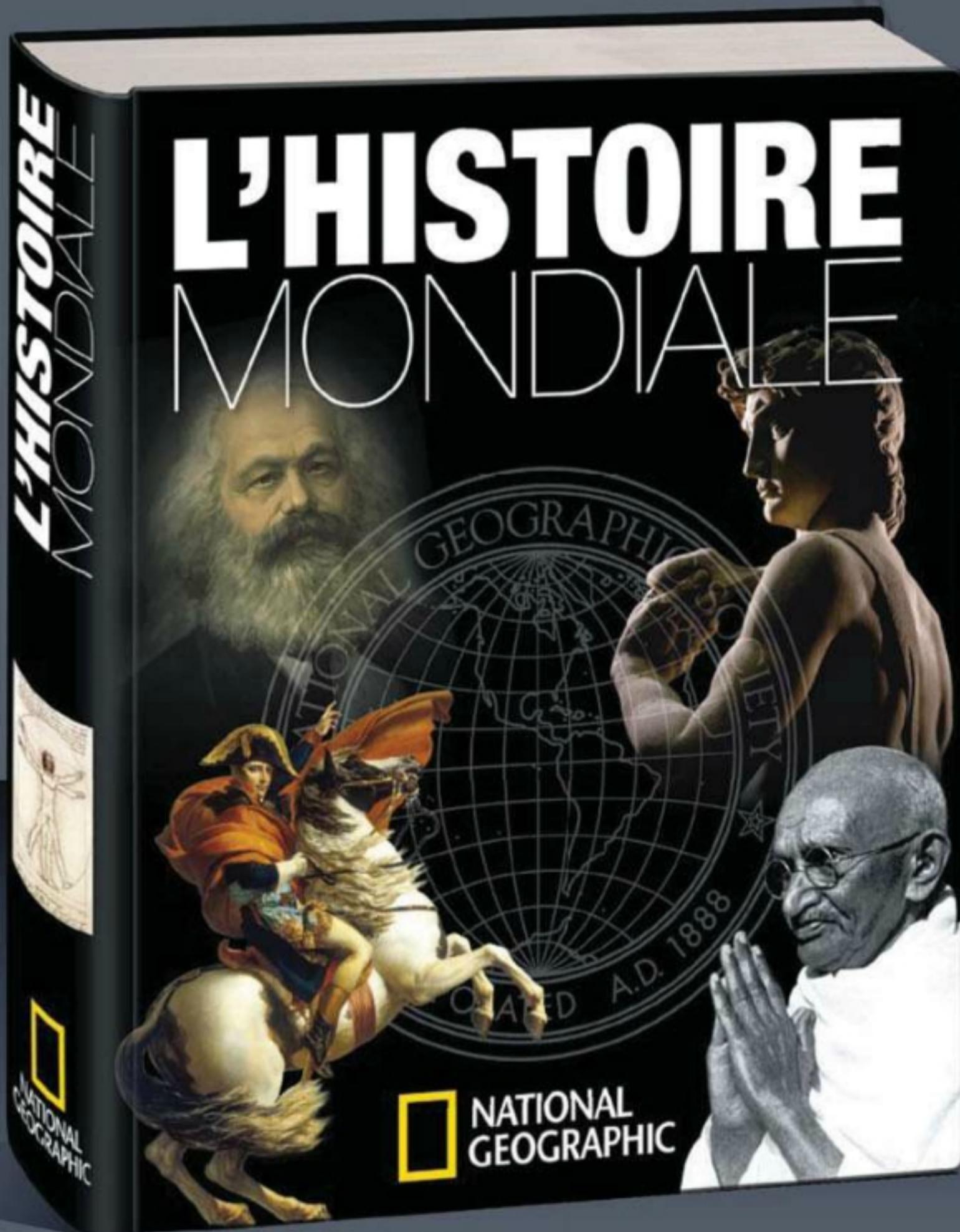
À cela, les scénaristes ajoutent un ingrédient ayant déjà largement fait ses preuves : l'humour. « Ils savent parfaitement jouer sur la corde sensible des téléspectateurs », complète Matteo Merzagora. Les auteurs, pour faire rire, surjouent les clichés. Et ça marche. Ainsi, Sheldon et Leonard, les deux « geeks » de *The Big Bang Theory*, arrivent aussi bien à s'affronter – pour impressionner leur voisine – sur la réalité de la théorie des cordes qu'à occire des gobelins dans un jeu en réseau alors qu'ils sont à 50 cm l'un de l'autre.

En réalité, les séries sont loin d'apporter de véritables connaissances. La contemplation des *Simpson* ou de *The Big Bang Theory* ne vous permettra jamais de sécher vos cours ni de comprendre quoi que ce soit à la physique quantique. Mais elles sont des vecteurs de débats en puissance. Car en utilisant les émotions des téléspectateurs, les séries influencent le public, à tel point que, parfois, les limites entre réalité et fiction se brouillent. Un sondage, réalisé par la BBC en 2003 auprès du public américain, s'avère édifiant. L'organisme

proposait en effet de choisir le « plus grand Américain de tous les temps ». Surprise : 47 % des voix placèrent Homer Simpson à la première place. Et ce, devant Abraham Lincoln ou Martin Luther King ! Un tel impact montre la puissance des séries. Le message scientifique qu'elles véhiculent peut ainsi largement influencer, voire modifier la perception de la réalité des téléspectateurs. Un article paru dans le *Canadian Medical Association Journal* détaillait ainsi les caractéristiques des deux médecins des *Simpson* pour critiquer le modèle actuel de santé publique du Canada.

D'AUTRES FOIS, LE MESSAGE de la série peut s'avérer particulièrement réducteur. Dans *Numbers*, par exemple, le héros, un grand mathématicien, résout des enquêtes policières en « se contentant » de les mettre en équations mathématiques. Comme si les facteurs humains pouvaient se réduire à des formules ! Ces différents messages mettent en évidence la relation ambivalente entre science et société. Les découvertes des chercheurs modifient sans cesse notre perception du monde, entraînant des sentiments tantôt de peur, tantôt d'espoir. Les scénaristes des *Simpson* l'ont parfaitement compris. Ils ont pris, eux, le parti de rester réalistes sans jamais se départir de leur ton si décapant. Dans un épisode, Ned Flanders, l'un de leurs personnages, clame ainsi, rageur : « La science est comme une grande gueule qui ruine un bon film en nous révélant la fin. Eh bien je dis qu'il y a des choses que nous ne voulons pas savoir ! » □

Une **vision inédite**
et **transversale** du monde !



Un ouvrage de référence accessible à tous pour **explorer** et **comprendre** le passé, afin de mieux appréhender le monde d'aujourd'hui.

Nouveauté disponible en librairie et rayons livres - 656 pages - 39,90 € - www.editions-prisma.com

> L'INFOGRAPHIE

PAR CLAIRE LECOEUVRE
ET LOLA PARRA CRAVIOTTO
INFOGRAPHIE PHILIPPE PUISEUX

Le PÉTROLE

POURQUOI FAIT-IL TOURNER LE MONDE ?

L'or noir est partout. Augmentation des prix, débats sur le pétrole de schiste, marées noires font de cette première ressource énergétique mondiale une habituée des médias.

Les enjeux économiques et politiques sont énormes, car le pétrole reste une source de pouvoir et d'argent. Malgré les lobbys et les sociétés pétrolières qui brouillent les cartes, le pétrole disparaîtra, c'est un fait. D'après certains experts, les réserves mondiales estimées ne cessent de chuter depuis 1980. La consommation, elle, augmente ou se stabilise selon les pays. Pourtant, aucun produit de substitution n'a encore réussi à le remplacer et une grande majorité des biens que nous utilisons au quotidien (médicaments, plastiques...) en contiennent.

À TRAVERS L'HISTOIRE

Dans l'Antiquité (-3 500 av. J.-C.), les civilisations mésopotamiennes employaient déjà le pétrole dans leurs constructions, et s'en servaient pour rendre étanches les embarcations.



Modèle d'embarcation

Momie de princesse

PAYS CONSOMMATEURS EN 2009*

ÉTATS-UNIS : 18,69 Mb/j
CHINE : 8,62 Mb/j
JAPON : 4,4 Mb/j
INDE : 3,18 Mb/j
RUSSIE : 2,7 Mb/j

Mb/j : millions de barils par jour
*Les plus grands

PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS EN 2009



CHINE
3,79 Mb/j

IRAN
4,21 Mb/j

ÉTATS-UNIS
7,2 Mb/j

Le pétrole se compose principalement de 85 % de carbone, 12 % d'hydrogène et 3 % de soufre, d'oxygène et d'azote.

DE QUOI EST-IL FAIT ?

IL PROVIENT de la décomposition de la matière organique du sous-sol terrestre en molécules formées d'atomes de carbone et d'hydrogène. Les pétroles ne se ressemblent pas entre eux. Le lieu, la manière et le temps de formation influent sur leur constitution. Ils peuvent contenir de l'eau, du soufre ou d'autres minéraux. Les industriels ont créé des pétroles dits « bruts de référence ». Chacun est classé selon son degré de viscosité et sa teneur en soufre. La viscosité se décompose selon la quantité de carbone présente, calculée grâce à l'indice Gravité API. Ainsi, le pétrole peut être léger, moyen, lourd ou extra-lourd. Plus le brut est léger et peu soufré, plus il se vend cher.

TROIS « BRUTS DE RÉFÉRENCE »

→ **WEST TEXAS INTERMEDIATE (WTI)**
Ce brut léger et très peu sulfureux est la référence en Amérique du Nord.

→ **LE BRENT** Issu de la mer du Nord, il est assez léger et peu soufré. Cette référence européenne fixerait, d'après l'International Petroleum Exchange, les prix des deux tiers des pétroles mondiaux.

→ **LE DUBAI LIGHT** Exploité dans le golfe Persique, ce brut moyen et assez sulfureux est la référence pour l'Asie. Contrairement à la majorité des pétroles, celui-ci est acheté comptant, sans aucun contrat de vente à long terme.

LES PRODUITS NON CONVENTIONNELS

TIGHT OILS
Hydrocarbures de mauvaise qualité.

LES SABLES BITUMINEUX
Mélanges de sable et de bitume très visqueux. Extraction très polluante.

LES LOURDS
ou extra-lourds. Très visqueux et difficiles à extraire.

LES SCHISTES BITUMINEUX, issus de la décomposition incomplète de la roche mère. Très coûteux et à faible rendement.

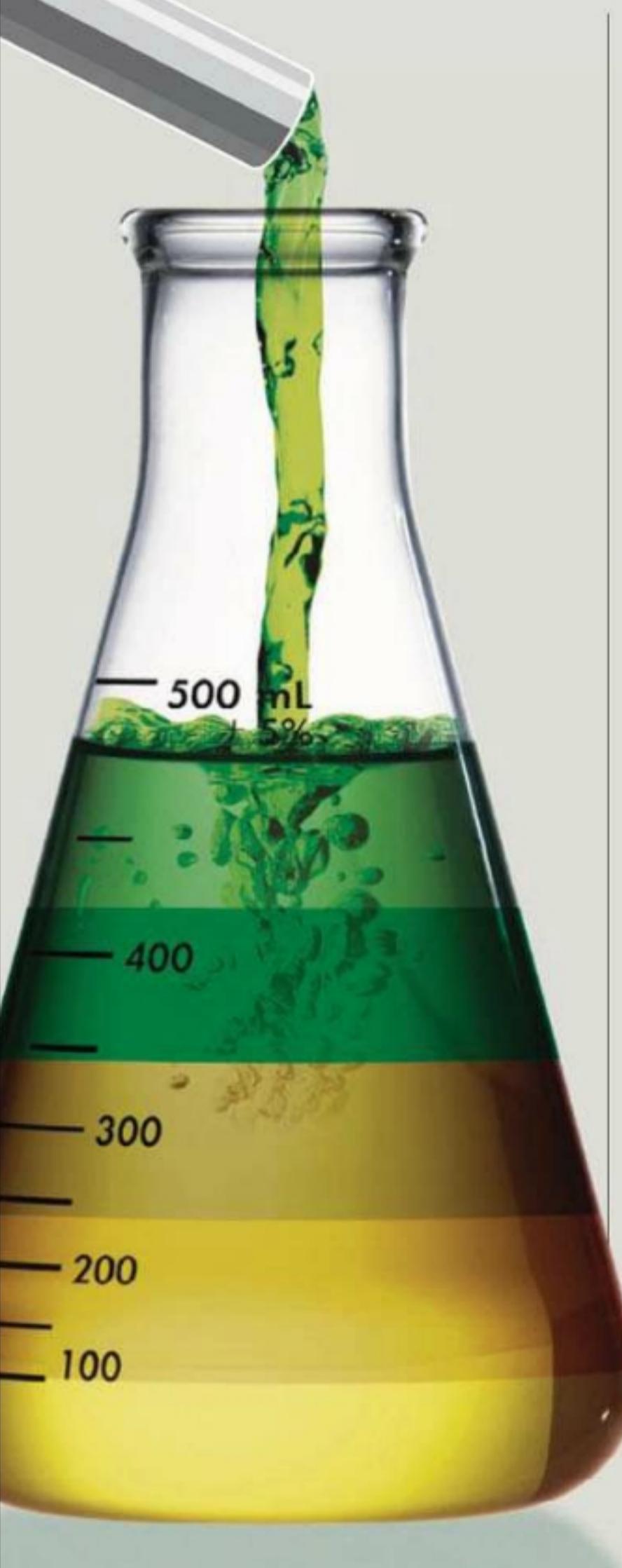
HUILES DE SCHISTE
Ces hydrocarbures liquides sont piégés dans la roche mère, qu'on atteint grâce à des forages horizontaux et à des fracturations hydrauliques. Certains forages ont débuté dans le Bassin parisien.



LES CATASTROPHES MAJEURES

Le plus gros déversement en Europe (Amoco Cadiz, 1978) se classe à la 9^e place mondiale.

SOURCES : CEDRE, ITOPF

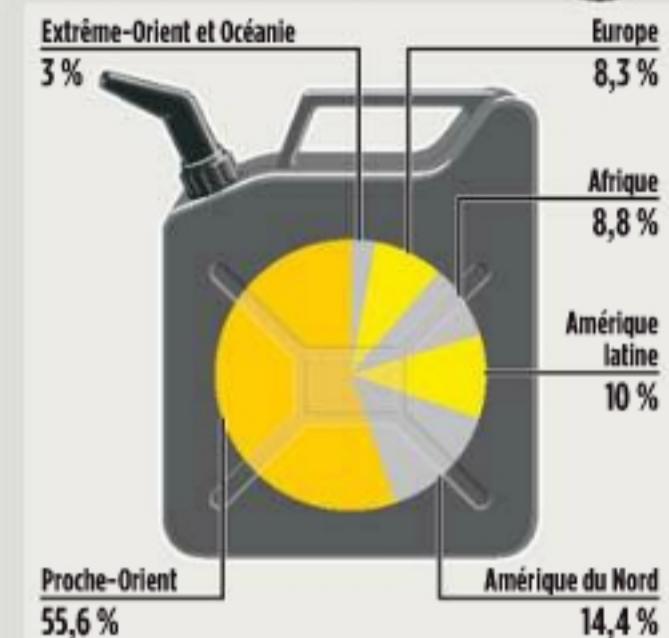


UN PRODUIT QUI SERT À TOUT

Le pétrole se retrouve dans bien des produits quotidiens. L'usage le plus important (76,5 à 82 % d'un baril de pétrole) correspond au carburant des différents types de transport. L'essence et le gazole alimentent voitures et camions, le kérosène les avions, et les fioul lourds les bateaux. Les gaz

- propane et butane - issus de la distillation du pétrole, servent pour le chauffage (10 à 12 %). L'industrie de la pétrochimie (5-7,5 %) l'utilise pour le plastique, mais aussi le caoutchouc, les solvants, les engrains, les médicaments... Le bitume, lui, entre dans le revêtement des routes (2 à 3 %).

SOURCES : CEDRE, ITOPF



RÉSERVES MONDIALES

ELLES SONT ESTIMÉES chaque année. Les réserves prouvées correspondent aux ressources « raisonnablement certaines » d'être produites. Elles auraient 90 % de chances d'être réelles ; on parle aussi des « probables » (50 %) et des « possibles » (10 %).

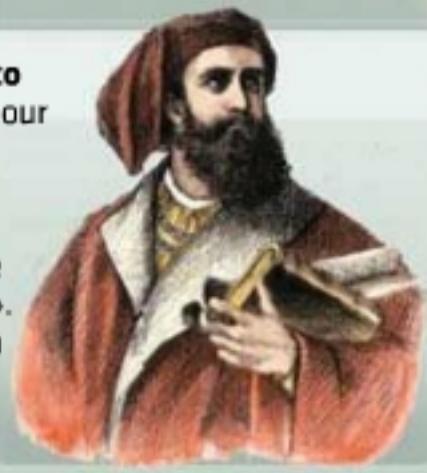


ÉVOLUTION DES PRIX

LES ACHATS DE PÉTROLE s'opèrent d'État à État, d'État à société pétrolière ou d'État à négociant. Chaque négociant revend son stock sur les sept marchés mondiaux, où le prix de base (en dollars par baril) des pétroles bruts de référence sont déterminés. Ce tarif varie aussi avec les conditions d'extraction, de raffinage et le coût des transports.

SOURCES : COMITÉ PROFESSIONNEL DU PÉTROLE ; OIL AND GAS JOURNAL ; INSEE 2011. MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT.

Au XIII^e siècle, Marco Polo, lors de son séjour en Chine, observe une substance qu'il définit comme « une huile de pierre brûlant facilement ». La première allusion au pétrole publiée en Occident.



Portrait de Marco Polo

L'ère industrielle du pétrole débute en 1855, aux États-Unis. Le premier puits est foré en 1859 par la Pennsylvania Rock Oil Company. L'or noir jaillit pour la première fois du sous-sol.

Lampe à pétrole

La production mondiale, sans cesse améliorée par les techniques de forage et de transformation, a toujours cru, jusqu'à atteindre 83 millions de barils par jour en 2009.

Puits en Oklahoma

LA THÉORIE DU PIC PÉTROLIER

King Hubbert a imaginé la fin de l'exploration pétrolière. En 1956, il a ainsi modélisé la courbe de production du pétrole, montrant un pic puis une lente diminution. Il put même prédire le pic pétrolier des États-Unis de 1970.

LE HASARD,



Le hasard est le compagnon des scientifiques dans nombre de découvertes. Les chercheurs ont un nom pour désigner ce phénomène : la sérendipité.

ROBERT KIRK - GARYSLUDDEN/PHOTODISC/GETTY IMAGES

Pourquoi les scientifiques ne joueraient-ils pas aux dés ? Dans nos sociétés cartésiennes, les découvertes de la science sont avant tout pensées comme le fruit d'un long et méticuleux processus de recherche, un enchaînement parfaitement ordonné d'hypothèses et de confirmations expérimentales. Le hasard, pourtant, a sa part dans bien des avancées capitales de la connaissance. Et l'histoire ne date pas d'hier. Son rôle est documenté depuis le III^e siècle avant Jésus-Christ, dans l'un des plus anciens récits d'une découverte scientifique, celle d'Archimède. À 22 ans, le savant était déjà le conseiller du roi Hiéron II de Syracuse. Si l'on en croit l'anecdote restée célèbre, Archimède se rendit au bain public alors qu'il cherchait la solution d'une énigme posée par le souverain. Comment s'assurer que l'orfèvre à qui le roi avait confié la réalisation d'une couronne en or ne l'avait pas volé en remplaçant une partie de l'or par du plomb ou de l'argent ? C'est en observant le niveau de l'eau monter à mesure qu'il s'immergeait dans son bain qu'Archimède aurait eu une illumination. Il suffisait de comparer les volumes de liquide déplacés par la couronne et par une masse d'or identique. Tout à la joie de sa découverte, il aurait jailli de l'eau pour se précipiter dans les rues de Syracuse, nu comme un ver, au cri de « Eurêka ! » – « J'ai trouvé ! » en grec.

À sa suite, les découvertes fortuites abondent dans l'histoire des sciences. Ainsi de la pénicilline, que le médecin britannique Alexander Fleming, en quête d'un antibiotique, découvrit après la contamination

UNE NÉCESSITÉ ?

accidentelle d'une boîte de Petri par des champignons. Citons aussi le biochimiste hongrois Albert Szent-Györgyi, et l'inventeur américain Charles Goodyear. Le premier avait découvert la vitamine C, mais, faute de substance en quantité suffisante, ne parvenait pas à étudier sa composition chimique pour la synthétiser. Jusqu'à ce que sa femme lui serve du paprika lors d'un dîner. Détestant l'épice, il prétendit devoir la garder pour l'analyser. Or celle-ci était inhabituellement riche en vitamine. Grâce à sa « lâcheté conjugale », comme il la qualifia plus tard, il poursuivit donc avec succès ses travaux. Quant à Goodyear, obsédé pendant des années par la mise au point d'une gomme résistant aux changements de température, il découvrit par inadvertance le procédé de vulcanisation du caoutchouc après avoir laissé tomber un mélange de soufre et de latex sur un poêle chaud. Une version de l'histoire veut qu'il se soit débarrassé précipitamment de son matériel d'expérience pour éviter les foudres de sa femme, rentrée inopinément et excédée par ces recherches infructueuses qui les avaient acculés à la ruine. On n'imagine pas ce que la science doit au souci de la paix des ménages. Archimède et consorts ont en commun d'avoir trouvé ce qu'ils cherchaient, fût-ce par des voies imprévues.

Une autre forme de hasard, plus saisissante encore, consiste à découvrir de façon impromptue quelque chose qu'on ne cherchait absolument pas. Les Anglo-Saxons ont depuis longtemps donné un nom au phénomène : *serendipity*, ou « le don de faire des trouvailles ». « La sérendipité, résumait il y a quelques décennies le facétieux médecin américain Julius H. Comroe, c'est comme chercher une aiguille dans une botte de foin et en sortir avec la fille du paysan. » C'est à un aristocrate du XVIII^e siècle, Horace Walpole, écrivain et collectionneur d'objets d'art, que l'on doit le terme. Il le forgea dans une lettre, en 1754, pour désigner le talent singulier des personnages d'un conte oriental du XIII^e siècle, *Les Pérégrinations des trois fils du roi de Sérendip* (le nom du Sri Lanka en ancien persan). « Quand leurs altesses voyageaient, elles faisaient toujours des

découvertes, par accident et sagacité, de choses qu'elles ne cherchaient pas », écrit Walpole. C'est ce talent particulier qu'il décide de nommer sérendipité. En France, dans les publications spécialisées, le terme voisine avec celui de zadicité (tiré du conte de Voltaire, *Zadig ou la Destinée*, dans lequel le philosophe s'inspire de l'histoire des trois princes et attribue leurs qualités à son héros).

Sérendipité ou zadicité, il ne s'agit pas simplement d'une affaire de hasard, mais d'une combinaison de chance et de perspicacité, d'un fait singulier et d'un esprit clairvoyant, apte à en donner une interprétation juste. Fleming, qui n'avait pourtant jamais fait mystère de la part de chance qui avait joué dans la découverte de la pénicilline, exprimait la chose d'une boutade : « Tout de même, les spores ne se mirent pas debout sur la gélose pour me dire : "Vous savez, nous produisons une substance antibiotique." »

Si le poids de la sérendipité est parfois mésestimé, en raison de la tendance des scientifiques à rationaliser *a posteriori* leurs recherches, la littérature scientifique a depuis longtemps commenté le phénomène. C'est que les découvertes tributaires de ce hasard heureux sont légion. Ainsi du big bang, qui fut mis en évidence par des ingénieurs d'une compagnie de téléphone alors qu'ils avaient repéré un bruit de fond en travaillant sur une antenne. Au cours d'une conversation avec un astronome, ils réalisèrent qu'ils avaient mis la main sur la preuve de l'existence du big bang, qui n'était alors qu'une hypothèse. Le bruit de fond n'était rien de moins que le rayonnement produit lors de l'explosion initiale. Le LSD, lui, fut découvert par un chimiste qui absorba accidentellement du diéthylamide, alors qu'il travaillait sur les propriétés thérapeutiques de dérivés d'ergot de seigle. Le soir, il rentra chez lui à vélo en croyant avoir

LORSQUE ISAAC NEWTON TRICHAIT AVEC LA POMME.

C'est l'exemple-type du poids du hasard. Isaac Newton aurait conçu l'idée de l'attraction universelle après avoir reçu une pomme sur la tête en 1666. Une histoire forgée de toutes pièces par le savant, sans doute par vanité. Alors qu'il ne développa sa théorie qu'à 42 ans, cette légende lui permettait de ne pas être en reste par rapport aux autres physiciens, souvent plus jeunes lors de leurs découvertes.

« LA RECHERCHE FONDAMENTALE DOIT ÊTRE

IM/KHARINE TAPABOR



UN COUP DE CHANCE POUR LES SCIENCES

Parmi les dons du hasard, le caoutchouc (ci-dessus, une publicité de Goodyear, en 1926), le Velcro (inspiré des fruits de bardane, qui s'accrochaient aux pantalons d'un savant), la chimiothérapie (due à des impuretés dans les substances testées), la congélation des cellules vivantes (née d'une erreur de manipulation).

conçu pour soigner l'hypertension, ses applications furent réorientées au moment où les patients signalèrent les effets secondaires que l'on sait. La sérendipité se nourrit ainsi de circonstances imprévues, quand elle ne prospère pas carrément sur des erreurs grossières. Le prix Nobel de chimie 2000 doit tout à la bourde magistrale d'un assistant qui, au cours de la fabrication d'un polymère, utilisa une quantité mille fois trop importante de catalyseur. Résultat : les premiers polymères conducteurs d'électricité furent découverts, bouleversant la théorie établie selon laquelle les matières plastiques étaient par définition des isolants. Les lauréats du Nobel reconnaissent officiellement le rôle de la sérendipité dans leur discours de réception.

des ailes... Concernant le viagra, initialement

Depuis quelques années, le concept fait l'objet d'un intérêt croissant. En 2003, la société néerlandaise de chimie décernait un premier prix de sérendipité à un étudiant pour la découverte d'un effet imprévu – mais toujours sans application – de l'aspirine. En 2009, c'était au tour du mensuel anglais *Times Higher Education Supplement* de lancer une récompense semblable. Le mot vient également de faire son entrée dans le Petit Larousse illustré 2011.

Cette visibilité nouvelle, elle, ne doit rien au hasard. Elle intervient à un moment où la recherche scientifique est de plus en plus encadrée, enfermée dans un cloisonnement des disciplines, empêtrée dans des impératifs de rentabilité immédiate. En 2009, le généticien français Laurent Ségalat dressait un constat au vitriol des dérives de la recherche mondiale dans un pamphlet intitulé *La science à bout de souffle*? (Seuil). Il y condamnait un système qui réduit les savants à des managers, asservis à des objectifs prédefinis et des obligations de résultats à court terme. « Monsieur Einstein, pouvez-vous nous livrer une théorie de la relativité pour dans trois ans ? », ironisait-il. Dans pareil contexte, défendre le rôle de la sérendipité, c'est plaider pour la créativité du savant et les errements féconds de la recherche, complémentaires de la sacro-sainte méthode hypothético-déductive. « Tous les scientifiques font le même constat : la science est trop découpée dans des isolements disciplinaires et des appels d'offres pour des thèmes d'étude beaucoup trop étroits. Cette façon d'orienter les travaux à partir de la demande d'applications technologiques va dans le mur à long terme. La recherche fondamentale ne doit pas être perdue de vue, et par définition, elle doit être libre », souligne Danièle Bourcier, directrice de recherche CNRS au sein du Cersa (Centre d'études et de recherches de sciences administratives et politiques). « On a tendance à surorganiser la recherche, renchérit Pek van Andel, chercheur en sciences médicales à l'université de Groningue, aux Pays-Bas. Il faut cultiver les originaux au lieu de les marginaliser. La science a besoin de gens qui font leurs propres traces au lieu de suivre celles des autres. C'est dans ces terra incognita qu'il y a le plus de choses à trouver. » Tous deux plaident pour une refonte de l'enseignement des

LIBRE »

sciences : la « pédagogie de la sérendipité », qui cultiverait la curiosité des étudiants et leur réceptivité aux faits insolites, en cachant, par exemple, des cas historiques de découvertes hasardeuses dans leurs travaux pratiques. Danièle Bourcier et Pek van Andel espèrent une réforme de l'organisation du travail au sein des institutions scientifiques. Planifier sans régimenter, donner du temps aux chercheurs pour des travaux personnels, à l'image des « programmes blancs » totalement libres, lancés depuis quelques années en France par l'Agence nationale de la recherche.

Promouvoir de telles structures ne ferait du reste qu'officialiser des pratiques de « recherches clandestines » largement répandues parmi les scientifiques. Aux Pays-Bas, on les appelle « recherches du tiroir ». Les savants sollicitent des crédits pour des projets qui ont déjà abouti. Ils investissent alors les fonds alloués dans des recherches personnelles. Quand ils doivent rendre des comptes, ils présentent les résultats initialement mis de côté. « C'est la dernière ruse pour défendre notre liberté académique », explique Pek van Andel.

Le débat est ancien. Au siècle dernier, Fleming, déjà, insistait sur les vertus de la recherche libre et les impasses d'une gestion à court terme. « Tout chercheur doit avoir une partie de son temps à lui, pour suivre ses propres idées sans avoir à en rendre compte, écrivait-il. Des choses capitales peuvent arriver pendant ces heures disponibles... Cette soif de résultats immédiats est commune mais nuisible. Les recherches vraiment profitables sont à long terme. Il se peut que rien de pratiquement utilisable ne sorte d'un laboratoire pendant des années. Soudain, quelque chose sera trouvé, qui n'aura peut-être rien à voir avec ce que l'on cherchait, mais qui paiera les dépenses du laboratoire pour cent ans. » À bon entendeur. □

► À LIRE

La sérendipité, le hasard heureux, sous la direction de Danièle Bourcier et Pek van Andel, Hermann, 2011

► À VOIR

Séminaire « Une autre façon de faire la recherche est-elle possible ? », au CERSA, Université de Paris II (2011-2012). Réservation : 01 42 34 58 96.

La sérendipité fera partie des thèmes abordés.

ÉPISTÉMOLOGIE

Quand d'un conte naît un concept

IL ÉTAIT UNE FOIS LA SÉRENDEPITÉ

À l'origine du concept de sérendipité, le conte *Les pérégrinations des trois fils du roi de Sérendip*, du poète persan Amir Khusrau (xviii^e siècle), qui narre les aventures de trois princes chassés de leur royaume après avoir refusé de succéder à leur père. Un épisode en particulier a inspiré le terme, celui où ils repèrent les traces d'un chameau.

« L'aîné observa que l'herbe à gauche de la trace était broutée, mais que l'herbe de l'autre côté ne l'était pas. Il en conclut que le chameau ne voyait pas de l'œil droit. Le cadet remarqua sur le bord gauche du chemin des morceaux d'herbes mâchées de la taille d'une dent de chameau. Il en conclut que le chameau pouvait avoir perdu une dent. Le benjamin inféra du fait que les traces

d'un pied de chameau étaient moins marquées dans le sol que le chameau boitait. »

À la vue d'autres indices, ils déterminent encore que l'animal portait une femme enceinte et était chargé de beurre et de miel. Rencontrant le chameau, qui avait perdu sa bête, ils lui en donnent une description si vérifiable qu'ils sont accusés de vol et jetés en prison. Ils sont finalement libérés, quand le chameau est retrouvé sain et sauf.

VOLTAIRE S'INSPIRA DE L'HISTOIRE

Au xviii^e siècle, l'histoire inspira Voltaire, qui en offrit une variante dans son conte philosophique *Zadig ou la Destinée*. Alors que la chienne de la reine et le cheval du roi de Babylone ont disparu, Zadig les décrit parfaitement, tout en affirmant ne pas les avoir vus. Arrêté, il explique qu'il a déchiffré les traces laissées par les animaux dans la nature, ce qui lui vaut finalement les louanges des juges pour son « profond et subtil discernement ». □



JOSSE/LEEMAGE



L'HOMME QUI FAISAIT AIMER LES MATHS

*Ses recherches trouvent des applications en astrophysique, en mécanique des fluides et en météorologie. **CÉDRIC VILLANI**, médaillé Fields, exerce son métier de chercheur avec gourmandise. Et engagement.*

PAR CÉLINE LISON PHOTOGRAPHIES DE LÉA CRESPI/AGENCE VU

SA

10 HEURES

pile, ponctuel, il passe la porte. À peine essoufflé par les trois étages qu'il vient de gravir, il s'incline légèrement pour vous saluer. Sans surprise, Cédric Villani arbore la tenue vestimentaire qui a tant fait pour sa popularité: un costume trois-pièces sombre, orné d'une lavallière carmin et d'une broche-araignée rouge et or. Un look qui n'est pour lui qu'un uniforme quotidien. Du coup, ses chaussures de marche légèrement boueuses étonnent davantage. Il s'en débarrasse d'ailleurs presque, préférant déambuler en chaussettes dans son bureau de directeur de l'Institut Henri-Poincaré. Mais ce mathématicien de tout juste 38 ans est bien plus qu'un original. L'homme est passé à la postérité il y a un an, le 20 août 2010, en recevant la médaille Fields. La plus haute distinction en mathématiques.

Depuis, il a multiplié les voyages. Tenté de répondre aux centaines de sollicitations. Il s'est rendu à l'Élysée, a découvert les plateaux de télévision, s'est fait chroniqueur-radio sur France Inter, a multiplié les interventions grand public... « 2011 a constitué un effort physique considérable pour moi. À un moment, il a même fallu que je compte mes heures de sommeil, que je programme des nuits blanches dans mon emploi du temps pour être sûr de pouvoir tout faire dans les délais... » 2012, se promet-il, sera une année plus sereine. À voir. En attendant, l'été dernier, il a embarqué femme et enfants pour trois semaines de vacances..., dont

deux ponctuées de cours, d'exposés et d'interviews. « La dernière semaine, assure-t-il, je n'ai rien fait. Juste des déplacements en camping-car dans les Pyrénées pour faire le plein de fleurs, de promenades, et boire le meilleur lait de brebis de ma vie ! »

En oublierait-il les mathématiques ? Avec lui, la question est saugrenue. Il sort d'un sac à dos une liasse de feuilles noircies de formules : ses « idées », qu'il griffonne à tout moment, sur un canapé, dans un jardin public, voire, imagine-t-on, entre deux gorgées de lait. « Pendant les congés, il y a une très légère frustration à ne pas pouvoir s'y mettre à fond. Mais c'est bon. Il faut que ça mijote un peu... »

UN JEU DE CONSTRUCTION

Nul doute que la cuisine des mathématiques continue de l'animer. À l'évocation de son premier « gros » résultat, Cédric Villani jubile encore. Il s'agissait de la résolution d'une question liée à la croissance de l'entropie – la mesure du degré de désordre d'un système, au niveau microscopique – et à l'équation de Boltzmann. Un problème ouvert depuis les années 1980. « Je me suis retrouvé là-dedans tout jeunot, à 23 ans, au hasard d'une université d'été à Pavie, en Italie, explique-t-il. À mon arrivée, le directeur de labo qui m'accueillait m'a demandé de tester une idée qu'il avait eue là-dessus. Je me suis vite aperçu que ça ne tenait pas du tout, mais je suis tombé sur un calcul qui sonnait bien. Comme s'il avait une identité propre... » Avec ce collègue italien, Cédric Villani approfondit la question. En quatre jours, une démonstration se met en place. « Nous avons compris qu'on pouvait ramener ce problème à une équation liée à la croissance de l'entropie dans les plasmas. Et à une autre concernant la chaleur. Des liens que personne n'avait jamais vus ! » Coup de chance, le mathématicien avait travaillé sur la première de ces équations un an plus tôt, avec un collègue français. « Cet ingrédient-là, c'était la pincée de sel finale. » La résolution est publiée. Elle constitue le premier des travaux qui lui vaudront la médaille Fields.

De cette expérience, il retire une nouvelle preuve que sa méthode de travail est la bonne. En tout cas pour lui. Lui qui se qualifie « d'analyste », qui observe les problèmes « en grand détail », et dont le spectre d'application est assez large. Car si Cédric Villani devait avoir une devise, ce serait peut-être celle-là : « Pour mieux explorer, se laisser porter par le hasard. » Celui des rencontres et des événements. Car il en est certain, s'il était arrivé une semaine plus tard en Italie, son directeur de stage aurait été en train d'explorer un autre problème. Et tout aurait été différent...

« Il ne faut pas lâcher sa proie, trouver le problème suffisamment dur pour qu'il soit **intéressant, mais faisable** pour ne pas être bloqué toute sa vie dessus. »



À l'écouter, la recherche mathématique, c'est cela : une série de hasards dans un jeu géant. Un jeu de construction, où un problème doit pouvoir se découper en une multitude d'autres avant que le lien se fasse, que toutes les briques trouvent leurs places et se répondent les unes les autres. Les clés ? Une discussion avec un confrère qui, tout à coup, éclaire d'un jour nouveau une question liée à votre objet d'étude. L'imagination aussi : « Les grands mathématiciens, ceux qui font rêver, sont des explorateurs, ils ont une vision. » La ténacité, enfin : « Il ne faut pas lâcher sa proie, trouver le problème suffisamment dur pour qu'il soit intéressant, mais faisable pour ne pas être bloqué toute sa vie dessus ! Et puis, de temps en temps, il faut savoir prendre une bifurcation en attendant l'étincelle qui vous fait tout comprendre. »

UN ORGASME INOUÏ, « MAIS EN PLUS LONG »

Pour expliquer l'état d'esprit du mathématicien lors de ce fameux déclic, Cédric Villani aime citer André Weil, l'une des grandes figures de la discipline au xx^e siècle, qui comparait ce moment à un orgasme inouï, « mais en plus long ». Malicieux, notre hôte ne dément pas. Encore une façon de démythifier son travail de chercheur. Mais il tient à faire partager son amour, sa passion pour les sciences. D'autant que c'est au cours de conférences grand public qu'il ressent le plus d'émotions, que les questions – des jeunes, en

particulier – fusent. Les Français auraient peur des mathématiques ? Ne s'intéresseraient pas aux sciences ? Foutaises. « Les mathématiques sont partout dans notre vie quotidienne. Lorsqu'elles paraissent impénétrables, c'est que les professeurs n'ont pas le temps de les relier à la réalité. Pas le temps de montrer comment elles vont avec la physique, les sciences de la vie et de la Terre, l'informatique... » Or, s'alarme-t-il, la dernière réforme des lycées va encore diminuer la durée de ces enseignements dans les classes scientifiques. Un comble au moment où la France a besoin d'innover, ne serait-ce que pour répondre aux défis écologiques – les seuls qui l'inquiètent vraiment. Cédric Villani n'a pas hésité à user de sa notoriété pour peser dans le débat. La pétition qu'il a signée à ce sujet fin 2010, n'a, pour le moment, reçu aucun écho de l'exécutif. Il faudra être tenace, là aussi. En attendant, il rêve de son prochain séjour près de Dakar, en février. Là-bas, AIMS-Sénégal, un institut africain des sciences mathématiques, vient d'ouvrir. Comme lui, certains des plus grands scientifiques internationaux vont y enseigner bénévolement auprès d'élèves boursiers triés sur le volet. Il y a un an, le lauréat de la médaille Fields n'avait pas cru au projet. Et puis, à la faveur de rencontres fortuites, il a séjourné au Bénin, où il a rencontré des élèves « à l'appétit jamais vu ». Dès son retour, il proposait son parrainage et son appui pour trouver les fonds nécessaires. Mission accomplie. Grâce au hasard, toujours. □

UNE VIE EN DATES

- 1973** Naissance à Brive-la-Gaillarde.
- 1998** Doctorat sur l'étude statistique des gaz.
- 2008** Publication de *Optimal transport* (Springer). Une référence.
- 2009** Directeur de l'Institut Henri-Poincaré.
- 2010** Médaille Fields.

PAR AGNÈS DIRICO

LE SUSHI UN SOUCI POUR LA

Parce qu'on l'associe à l'idée de manger vite mais sainement, assaisonné d'un zeste de « branchitude », ce menu japonais pas vraiment traditionnel connaît un succès croissant. Quel impact a-t-il sur la planète et sur notre santé ?

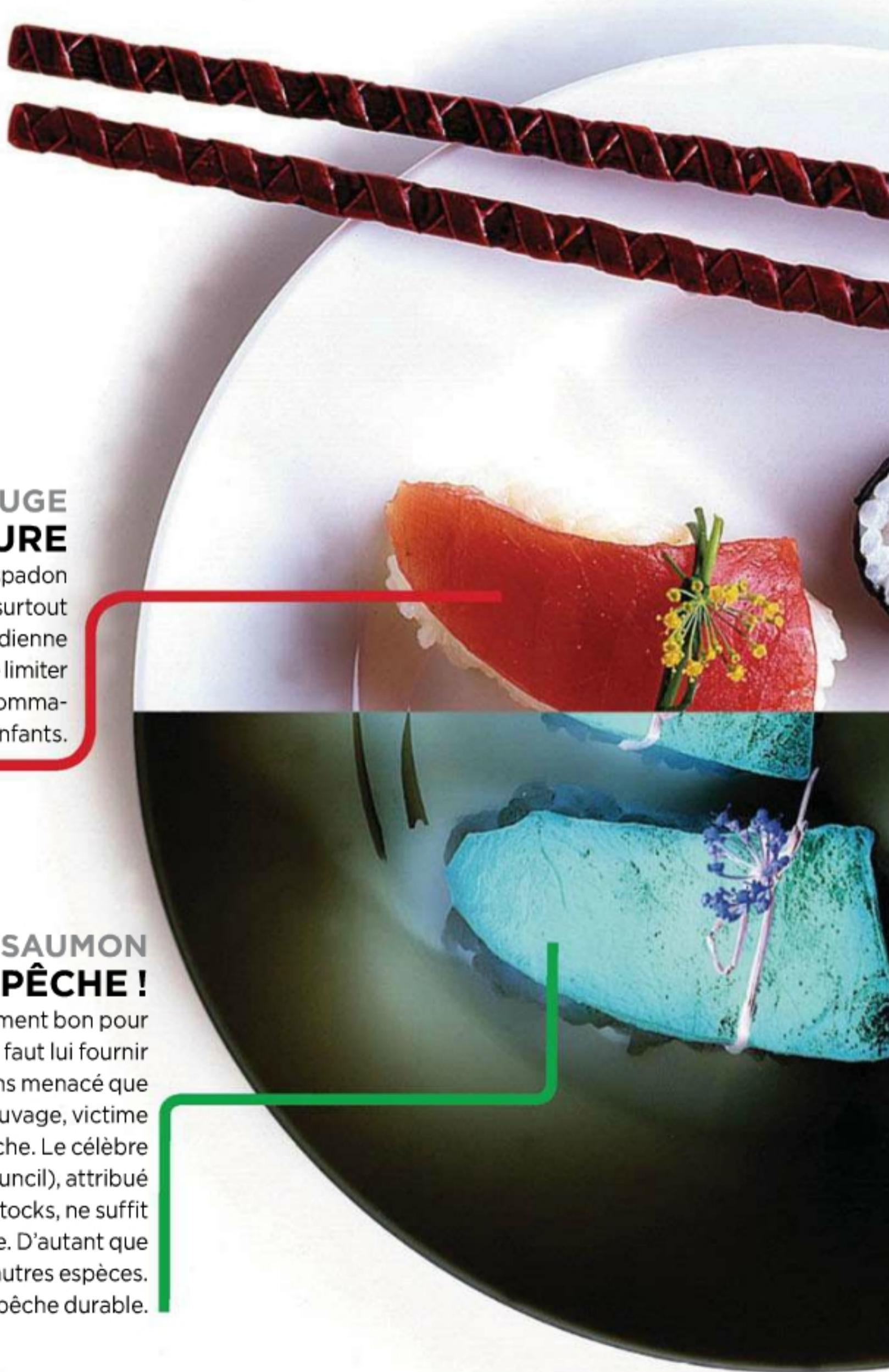
LE THON ROUGE POUR QUI AIME LE MERCURE

Deux fois moins riche en oméga-3 que le saumon, l'espadon ou le flétan, ce poisson quasi impossible à élever est surtout remarquable par... sa teneur en mercure. L'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) suggère aux adultes de limiter le thon frais à un repas par semaine. En Europe, sa consommation est déconseillée aux femmes enceintes et aux enfants.

LE SAUMON ATTENTION, SURPÊCHE !

S'il est d'élevage, le saumon n'est pas vraiment bon pour la planète. Car pour en produire 1kg, même bio, il faut lui fournir l'équivalent de 1,7 à 5 kg de poisson. Moins menacé que la daurade rose ou le cabillaud, le saumon sauvage, victime de son succès, n'en est pas moins l'objet de surpêche. Le célèbre label bleu MSC (Marine Stewardship Council), attribué aux pêcheries pratiquant une gestion durable des stocks, ne suffit pas à garantir le maintien du saumon du Pacifique. D'autant que le MSC tolère le chalutage des fonds, qui ravage d'autres espèces. Le saumon d'Atlantique, lui, ne bénéficie pas de pêche durable.

LE SAUMON DE L'ATLANTIQUE EST À 93 % PRODUIT PAR ÉLEVAGE,



PLANÈTE ?

LE RIZ BLANC DU SUCRE DÉGUISÉ

Débarrassé par polissage de ses enveloppes naturelles, le riz perd sa couleur, mais surtout l'essentiel de ses qualités nutritionnelles : les fibres, les vitamines (B1, B2 et PP) et les minéraux. Reste de l'amidon, c'est-à-dire du sucre. Mais le riz gluant calme l'appétit. Au Japon, les enveloppes éliminées lors du polissage servent d'ingrédients dans la préparation des nuhazuee, les légumes salés de la cuisine traditionnelle.

**CE QUI FAIT SON SUCCÈS ?
SEULEMENT 44 CALORIES
POUR UN SUSHI AU THON**

LES ALGUES LE MUST EN MATIÈRE D'ANTIOXYDANTS

Quelles que soient leur espèce et leur couleur, leur valeur nutritionnelle est exceptionnelle, tant pour leur teneur en minéraux (variable d'une espèce à l'autre mais toujours élevée) que pour l'apport de fibres, d'antioxydants et de phytostérols (anticholestérols). Des bienfaits dont nous profitons tous, même si les Japonais le font mieux que les autres. Une équipe CNRS/UPMC a en effet découvert chez eux une enzyme intestinale qui permet de digérer spécifiquement le porphyrane, un polymère de sucres des algues rouges (utilisées pour préparer les sushis). Pour limiter la production de CO₂, les consommateurs français favoriseront les algues récoltées en Bretagne.

Un thé vert aux 1000 vertus

Mieux que le saké, le thé vert regorge de composés excellents pour la santé. Son secret ? Les polyphénols, des composés aux propriétés anti-oxydantes et anti-inflammatoires. Le plus actif d'entre eux, l'épigallocatéchine gallate (EGCG) est l'objet de nombreuses études scientifiques. Il s'opposerait à la prolifération de nombreux virus, y compris ceux des différentes grippes.

Certaines équipes de chercheurs l'utilisent pour limiter l'action du virus du sida (VIH). Il aide aussi à ralentir le vieillissement et à prévenir certains cancers. Pour en bénéficier au mieux, choisissez le thé vert japonais plutôt que le chinois (moins riche en EGCG à cause d'un procédé de fabrication différent), et laissez infuser huit à dix minutes pour extraire un maximum de polyphénols.

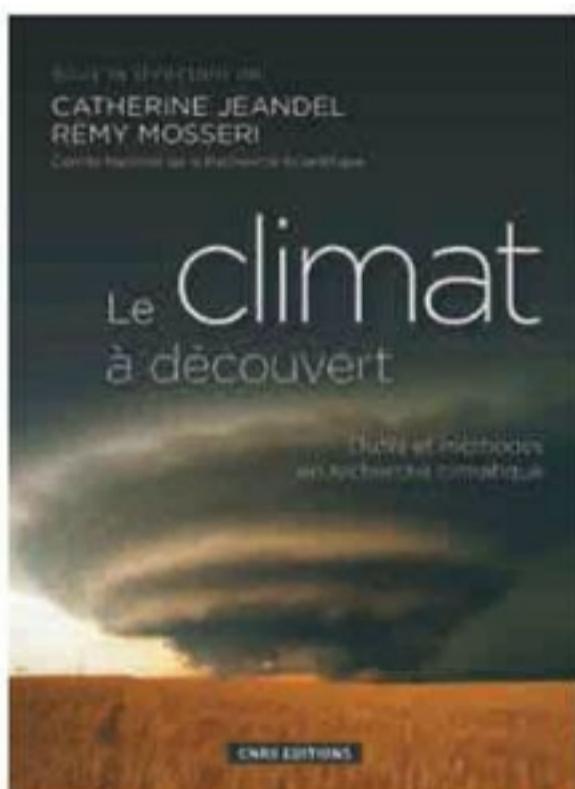
FOODFOLIO/PHOTOCUISINE

SOUVENT INTENSIF ET POLLUANT POUR LES ÉCOSYSTÈMES

SORTIES

PAR CLAIRE LECŒUVRE ET CÉLINE LISON

LIVRES



LE CLIMAT À DÉCOUVERT

Proposer une référence sur les sciences du climat. Le défi, relevé par le CNRS et les spécialistes, permet au grand public d'appréhender l'état des connaissances sur la question. Un peu ardu, mais loin des polémiques.

Le climat à découvert, Collectif, Éditions du CNRS. 285 p., 39 €.



BASCULEMENT

Des clés pour éviter la chute, c'est ce que nous offre Lester R. Brown, pionnier du développement durable. Une alerte nécessaire.

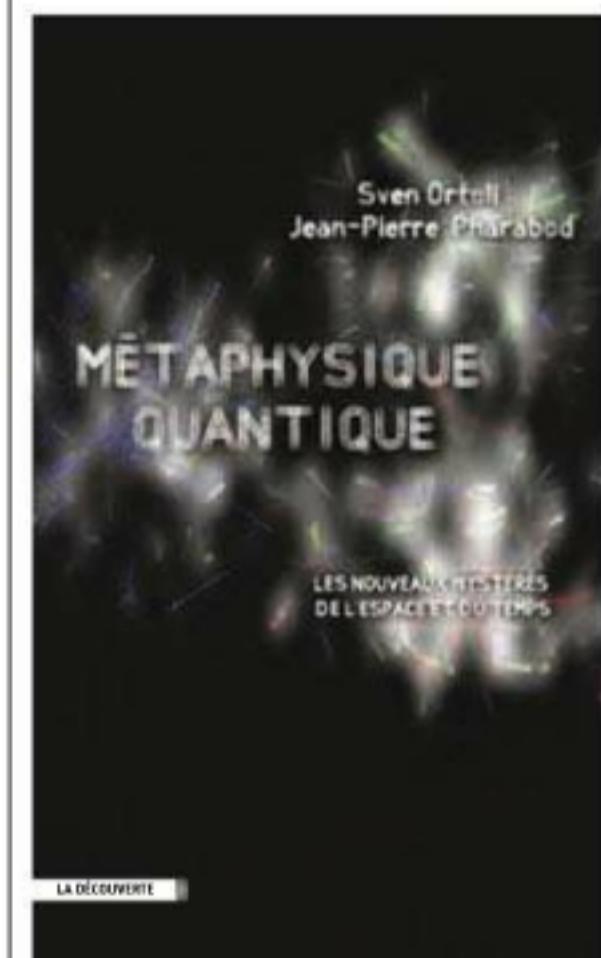
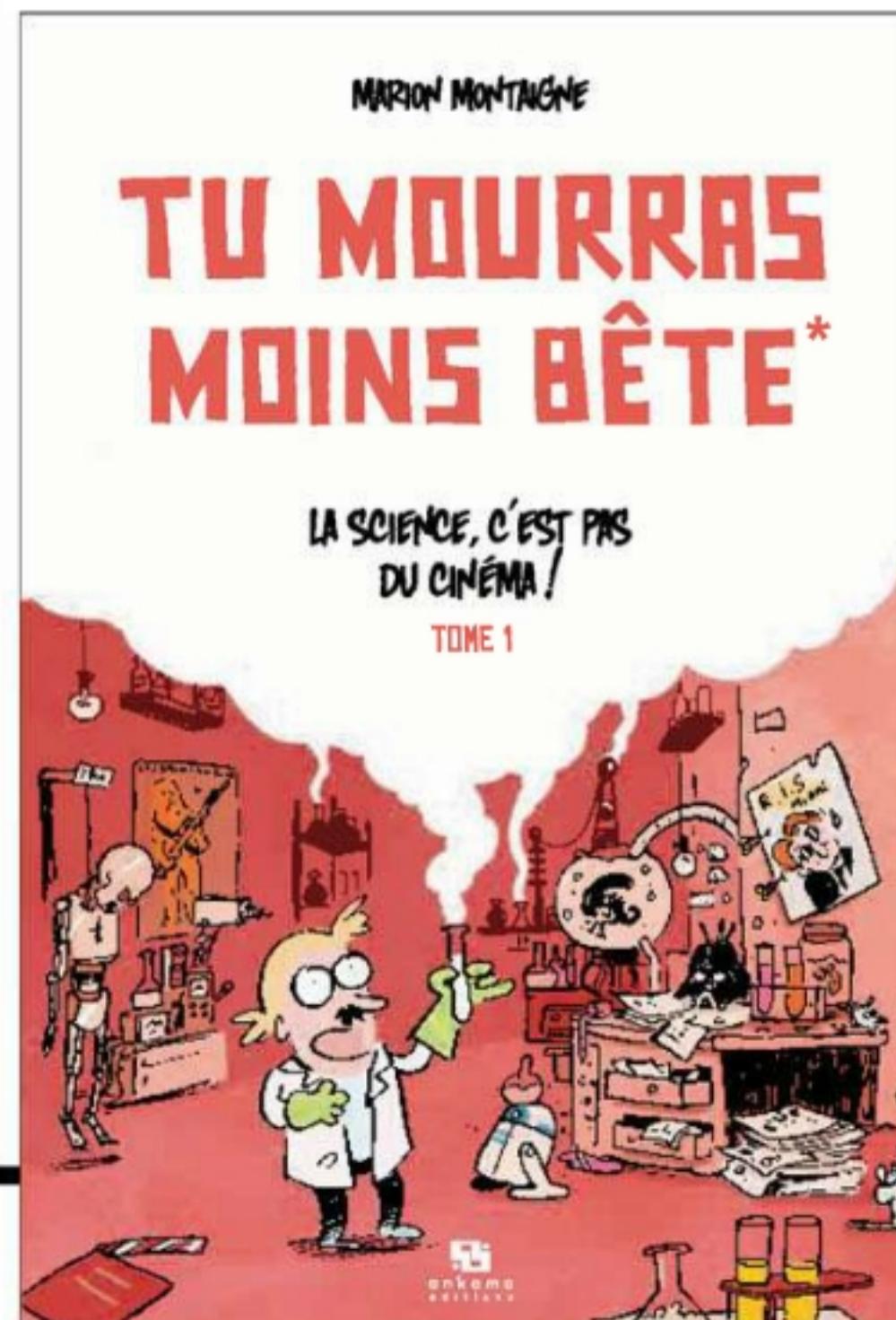
Basculement, Lester R. Brown, Éd. Rue de l'Echiquier, 272 p., 20 €.

UNE BD DÉJANTÉE TU MOURRAS MOINS BÊTE

DES CARICATURES DÉCAPANTES POUR METTRE EN ÉVIDENCE LES INCONGRUITÉS SCIENTIFIQUES DU CINÉMA.

Que se passe-t-il vraiment si l'on se bat avec des sabres lasers ? Pourquoi Indiana Jones ne peut pas survivre à une bombe atomique ? Ce qui aurait dû arriver quand Bruce Willis a sauvé le monde d'une chute de météorite. La prof Moustache revisite les classiques du cinéma au microscope. Voici un univers où les globules blancs, les mouches nécrophages et l'ADN de dinosaure deviennent hilarants. Un concentré de références loufoques qui se lisent d'un trait. Ces véritables perles de savoir nous feront mourir moins bêtes. Mais avec Marion Montaigne, cela pourrait bien être de rire.

■ *Tu mourras moins bête*, Marion Montaigne, Ankama Éditions. 255 p., 14,90 €.



MÉTA PHYSIQUE QUANTIQUE

Pour le néophyte, la simple évocation du terme « physique quantique » peut déclencher des sueurs froides. Dans ce livre, pourtant, les deux auteurs s'emploient à rendre cette discipline plus accessible, en montrant des applications familières dans un texte fluide et rempli d'humour.

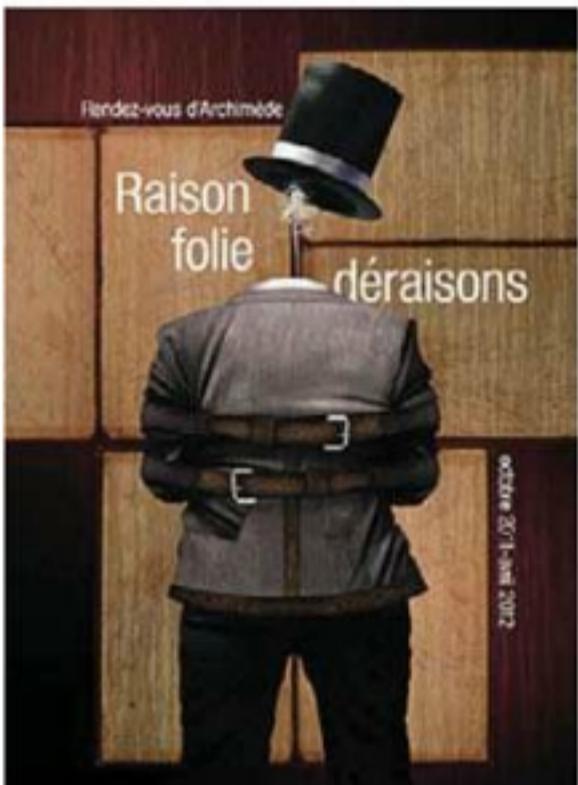
MétaPhysique quantique, Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod, Éd. La Découverte, 144 p., 14 €.

ÉLÉMENTAIRE...

Sherlock Holmes fait son retour. À travers ce roman, on retrouve le fameux détective sous l'aspect d'un scientifique méticuleux. Poison, analyse d'empreintes digitales, observation des traces de pneus... Ses connaissances illustrent les progrès de la science de son époque.

La science de Sherlock Holmes, E.J. Wagner, Éditions Le Pommier. 336 p., 23 €.

É POS, CONFÉRENCES, FESTIVALS

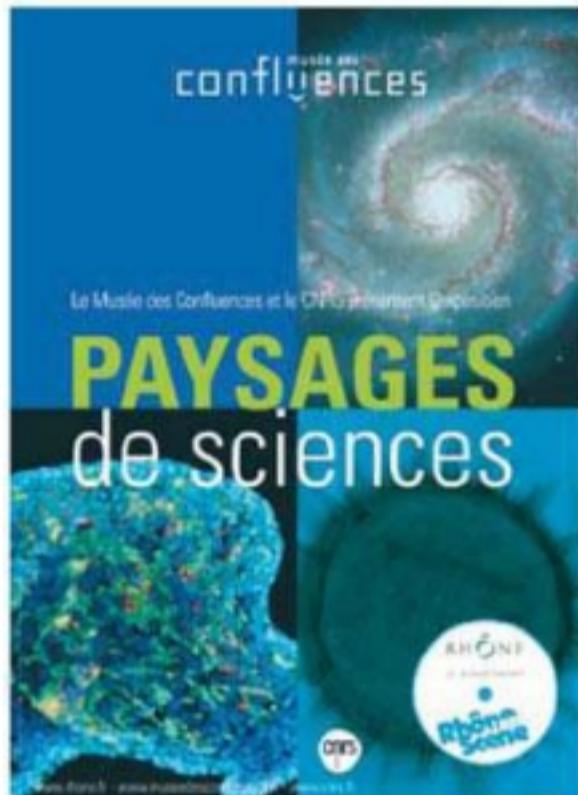


RAISON, FOLIE, DÉRAISONS

Cycle de conférences.

Reléguée aux marges de notre société, la folie interroge notre rationalité.

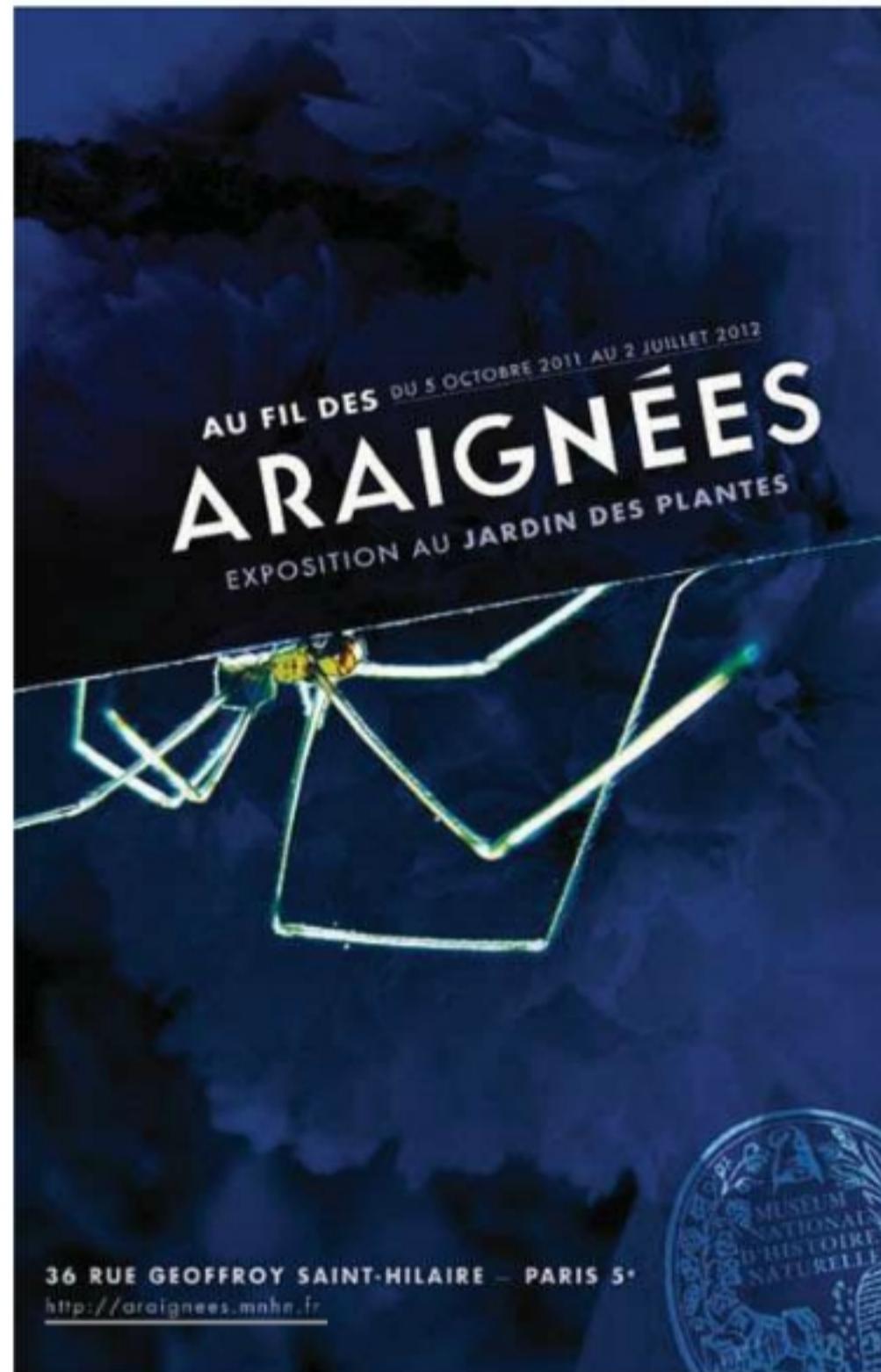
Espace culturel de l'université Lille 1. Dès le 18 octobre. culture@univ-lille1.fr



PAYSAGES DE SCIENCES

De l'infiniment petit à l'infiniment grand, de nombreuses images insolites exaltent une facette trop peu connue de la recherche : sa beauté fascinante.

Musée des confluences de Lyon, du 6 septembre au 29 octobre. Infos : 04 78 91 57 09.



AU FIL DES ARAIGNÉES

LES ARAIGNÉES À TOUTES LES SAUCES. REDOUTABLES OU INOFFENSIVES, ANCESTRALES ET FUTURISTES, EFFRAYANTES ET MAGNIFIQUES... UN MENU POUR TOUS.

Véritable hymne à ces petites bêtes souvent craintes et détestées, cette nouvelle exposition temporaire retrace l'histoire de ces éternelles mal-aimées. Le parcours aborde la biologie des différentes espèces, les recherches actuelles qui les concernent, puis s'attaque aux nombreux clichés qui leur collent aux pattes.

Grande Galerie de l'évolution, Muséum national d'histoire naturelle. Du 5 octobre 2011 au 2 juillet 2012. 01 40 79 56 01. À dévorer aussi : *Arachna, les voyages d'une femme araignée*, C. Rollard et V. Tardieu. Éd. Belin/Muséum.

ET AUSSI

« SI LES VIEUX VIVAIENT ENCORE... » Cycle de rencontres au Centre d'éthique clinique. *Hôpital Cochin, Paris. Dès le 8 novembre. 01 42 71 34 02.*

FESTIVAL SCIENCE FRONTIÈRES Un tour du monde de la recherche en 24 heures de direct, sur une web TV. *4-5 novembre, www.terre.tv*

L'ANTICYTHÈRE

L'énigmatique machine antique (voir p. 15).

www.antikythera-mechanism.gr/fr

CNAM, 60, rue Réaumur, Paris. 01 53 01 82 00.

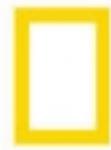
ENSCI-SUPRA DESIGN



SUPRA DESIGN L'expo qui imagine la supraconductivité de demain. *Cité des sciences (congés de la Toussaint) et Espace Pierre-Gilles-de-Gennes, Paris. Du 6 septembre au 19 novembre.*

L'ENQUÊTE À vous de retrouver les œuvres que les musées se sont échangés pour la fête de la science.

À Paris, du 12 octobre au 31 décembre. enquete-scientifiqueettechnique.fr



NATIONAL GEOGRAPHIC

Inspirer le désir de protéger la planète

National Geographic Society est enregistrée à Washington, D.C., comme organisation scientifique et éducative à but non lucratif dont la vocation est «d'augmenter et de diffuser les connaissances géographiques». Depuis 1888, la Society a soutenu plus de 9 000 expéditions et projets de recherche.

FRANÇOIS MAROT, Rédacteur en chef

Céline Lison, Chef de projet

Frank Sérac, Conception graphique et Directeur artistique

Hélène Verger, Chef de studio

Philippe Marchetti, Conseiller éditorial

Stéphane Ternon, Albert Zugmeyer, Laurence Folie, Rédacteurs photo

Christine Seassau, Secrétaire de rédaction

Sophie Dolce, Sylvie Porté, Correctrices

Jean-François Chaix, Béatrice Bocard, Traducteurs

Hugues Piolet, Cartographe

Emmanuelle Gautier, Assistante de la rédaction

Claire Lecœuvre, Stagiaire rattachée à la rédaction

CONSULTANTS SCIENTIFIQUES

Benjamin Bois,
Maître de conférence, Institut universitaire
de la vigne et du vin – Université de Bourgogne

Vincent Bonhomme,
Docteur en biologie de l'évolution,
Institut français de Pondichéry ;

Maguelonne Chambon,
Direction de la recherche scientifique et technologique,
Laboratoire national de métrologie et d'essais ;

Mickaël Naassila, Professeur de physiologie, Inserm

FABRICATION

Stéphane Roussiès, Anne-Kathrin Fischer,
Charlène Revidon

Photogravure : Quart de Pouce,
une division de Made For Com, France

Imprimé en Allemagne :
Mohn Media Mohndruck GmbH,
Carl-Bertelsmann-Straße 161 M, 33311 Gütersloh

MARKETING

Delphine Schapira, Directrice Marketing
Julie Le Floch, Chef de groupe

Dépôt légal : octobre 2011 ; Diffusion : Presstalis. ISSN 1297-1715.

Commission paritaire : 1214 K 79161.

SERVICE ABONNEMENTS

National Geographic France et DOM TOM
62 066 Arras Cedex 09.
Tél. : 0 811 23 22 21
www.prismashop.nationalgeographic.fr

VENTE AU NUMÉRO ET CONSULTATION : Tél. : 0 811 23 22 21 (prix d'une communication locale)

NATIONAL GEOGRAPHIC MAGAZINE

EDITOR IN CHIEF

Chris Johns
DEPUTY EDITOR Victoria Pope
CREATIVE DIRECTOR Bill Marr
EXECUTIVE EDITORS
Dennis R. Dimick (Environment), Kurt Mutchler (Photography), Jamie Shreeve (Science)
MANAGING EDITOR Lesley B. Rogers
DEPUTY MANAGING EDITOR David Brindley
DEPUTY CREATIVE DIRECTOR Kaitlin Yamall

DEPARTMENT DIRECTORS

ART: Juan Velasco DEPARTMENTS: Margaret G. Zackowitz
DESIGN: David C. Whitmore MAPS: William E. McNulty

INTERNATIONAL EDITIONS

EDITORIAL DIRECTOR: Amy Kolczak
PHOTO AND DESIGN EDITOR: Darren Smith, PHOTOGRAPHIC LIAISON: Laura L. Ford.
PRODUCTION: Angela Botzer, ADMINISTRATION: William Shubert

EDITORS: ARABIC Mohamed Al Hammadi - BRAZIL Matthew Shirts - BULGARIA Krassimir Drumev - CHINA Ye Nan
CROATIA Hrvoje Prlić - CZECHIA Tomáš Tureček - FRANCE François Marot - GERMANY Erwin Brunner
GREECE Maria Almatzidou - HUNGARY Tamás Schlosser - INDONESIA Hendra Noor Saleh - ISRAEL Daphne Raz
ITALY Marco Cattaneo - JAPAN Shigeo Otsuka - KOREA Sun-ok Nam - LATIN AMERICA Omar López
LITHUANIA Frederikas Jansonas - NETHERLANDS/BELGIUM Aart Aarsbergen - NORDIC COUNTRIES Karen Gunn
POLAND Martyna Wojciechowska - PORTUGAL Gonçalo Pereira - ROMANIA Cristian Lascu
RUSSIA Alexander Grek - SERBIA Igor Rill - SLOVENIA Marija Javornik - SPAIN Josep Cabello
TAIWAN Roger Pan - THAILAND Kowit Phadungruangkij - TURKEY Nesibe Bat

NATIONAL GEOGRAPHIC MAGAZINE

CHAIRMAN AND CEO

John Fahey

PRESIDENT Timothy T. Kelly

EXECUTIVE VICE PRESIDENTS

Terrence B. Adamson

PRESIDENT, ENTERPRISES: Linda Berkeley

MISSION PROGRAMS: Terry D. Garcia

COMMUNICATIONS: Betty Hudson

CFO: Christopher A. Liedel

PRESIDENT, PUBLISHING: Declan Moore

BOARD OF TRUSTEES

John Abrahamsen, Michael R. Bonsignore, Jean N. Case,
Alexandra Grosvenor Eller, Roger A. Enrico, John Fahey,
Daniel S. Goldin, Gilbert M. Grosvenor, Tim T. Kelly,
Maria E. Lagomasino, George Muñoz, Reg Murphy,
Patrick F. Noonan, Peter H. Raven, William K. Reilly,
Edward P. Roski, Jr., James R. Sasser, B. Francis Saul II,
Gerd Schulte-Hillel, Ted Wait, Tracy R. Wolstencroft

INTERNATIONAL PUBLISHING VICE PRESIDENTS

MAGAZINE PUBLISHING : Yulia Petrossian Boyle

BOOK PUBLISHING : Rachel Love

Cynthia Combs, Ariel Deiaco-Lohr, Cynthia Gbetibouo,
Kelly Hoover, Diana Jaksic, Jennifer Liu, Desiree Sullivan

RESEARCH AND EXPLORATION COMMITTEE

CHAIRMAN: Peter H. Raven

VICE CHAIRMAN: John M. Francis

Kamaljit S. Bawa, Colin A. Chapman, Keith Clarke,
Steven M. Colman, J. Emmett Duffy, Philip Gingerich,
Carol P. Harden, Jonathan B. Losos, John O'Loughlin,
Naomi E. Pierce, Elsa M. Redmond, Thomas B. Smith,
Wirt H. Wills, Melinda A. Zeder

EXPLORERS-IN-RESIDENCE

Robert Ballard, James Cameron, Wade Davis, Jared
Diamond, Sylvia Earle, J. Michael Fay, Zahi Hawass, Beverly
Joubert, Dereck Joubert, Louise Leakey, Meave Leakey,
Johan Reinhard, Enric Sala, Paul Sereno, Spencer Wells

Copyright © 2011 National Geographic Society
All rights reserved. National Geographic and Yellow Border
Registered Trademarks ® Marcas Registradas. National
Geographic assumes no responsibility for unsolicited materials.

Licence de la NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

Magazine mensuel édité par :

NG France

Siège social : 13, rue Henri-Barbusse,
92624 Gennevilliers CEDEX

Société en Nom Collectif
au capital de 5 892 154,52 €
Ses principaux associés sont :

PRISMA-PRESSE et VIVIA

MARTIN TRAUTMANN,
Directeur de la publication
MARTIN TRAUTMANN, PIERRE RIANDET,
Gérants
13, rue Henri-Barbusse,
92624 Gennevilliers Cedex
Tél. : 01 73 05 60 96
Fax : 01 73 05 65 51

FABRICE ROLLET,
Directeur commercial
Éditions National Geographic
Tél. : 01 73 05 35 37



La rédaction du magazine
n'est pas responsable de la
perte ou détérioration des
textes ou photographies qui
lui sont adressés pour ap-
préciation. La reproduction,
même partielle, de tout maté-
riel publié dans le magazine
est interdite. Tous les prix
indiqués dans les pages sont
donnés à titre indicatif.

FSC® C021803

► CE MOIS-CI DANS LE NATIONAL GEOGRAPHIC

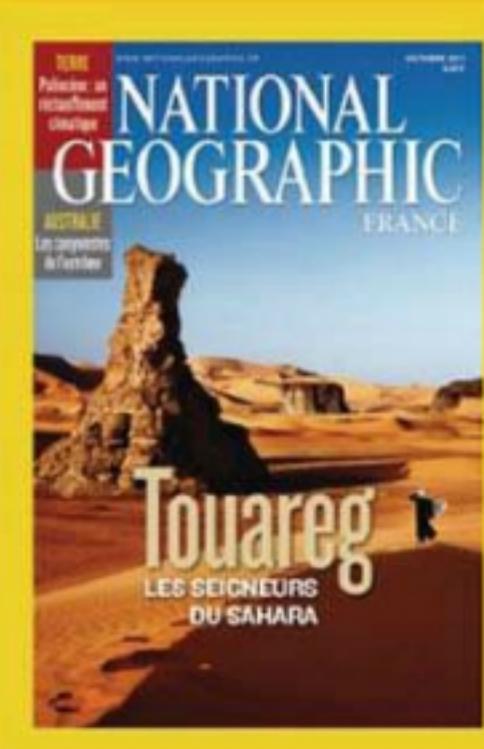
Paléocène. Et soudain, les températures se mirent à grimper...



IRA BLOCK

Un Inuit tient une photo d'un marais de Caroline du Sud. L'île de Baffin, où il se tient, y ressemblait il y a 56 millions d'années.

NOTRE TERRE A DÉJÀ connu un épisode, aussi violent que puissant, de réchauffement climatique, une sorte d'expérience *in vivo* qui s'est déroulée il y a 56 millions d'années, lors du Paléocène. Comme aujourd'hui, mais pour des raisons naturelles, d'énormes quantités de carbone ont subitement réchauffé l'atmosphère. En 200 000 ans, le monde a perdu ses banquises et ses glaciers. L'été, l'eau atteignait 23 °C au pôle Nord, et le niveau des océans était de soixante-dix mètres plus élevé que de nos jours. Ce traumatisme climatique bouleversa le monde vivant et favorisa l'expansion des mammifères. Dans le reportage « Un monde sans glace », Robert Kunzig et Ira Block racontent cette lointaine histoire et ses enseignements pour notre civilisation, civilisation qui pourrait bien générer de tels bouleversements.



ET AUSSI

- Touareg, les seigneurs du Sahara
- Australie: au fond du gouffre
- Les requins montent au filet
- Les descendants de Gengis Khan

>À LIVRE OUVERT



GRAND
CANYON

100 km

UNIVERS LA TERRE DONNE L'ÉCHELLE

Deux professeurs de l'université de Princeton, J. Richard Gott et Robert J. Vanderbei, ont imaginé un livre ingénieux pour apprêhender les dimensions vertigineuses des objets qui peuplent l'Univers. Avec la Terre comme étalon.

PAR MYRIAM DÉTRUY PHOTOGRAPHIES DE LA NASA



VALLES MARINERIS, SUR MARS

LA BALAFRE DE LA PLANÈTE ROUGE

Imaginez un canyon dont les parois atteindraient 6, voire 10 km de haut sur certaines portions. Ce canyon, Valles Marineris, se trouve à proximité de l'équateur martien. Long de 4 000 km et large de 600, ce réseau de vallées ultraencaissées entaille la surface de la Planète rouge. À côté, le Grand Canyon (Arizona) affiche des mensurations «ridicules»: profond de 2 000 m au maximum, il s'étend sur 450 km de long, et sa largeur varie entre 5,5 et 30 km.

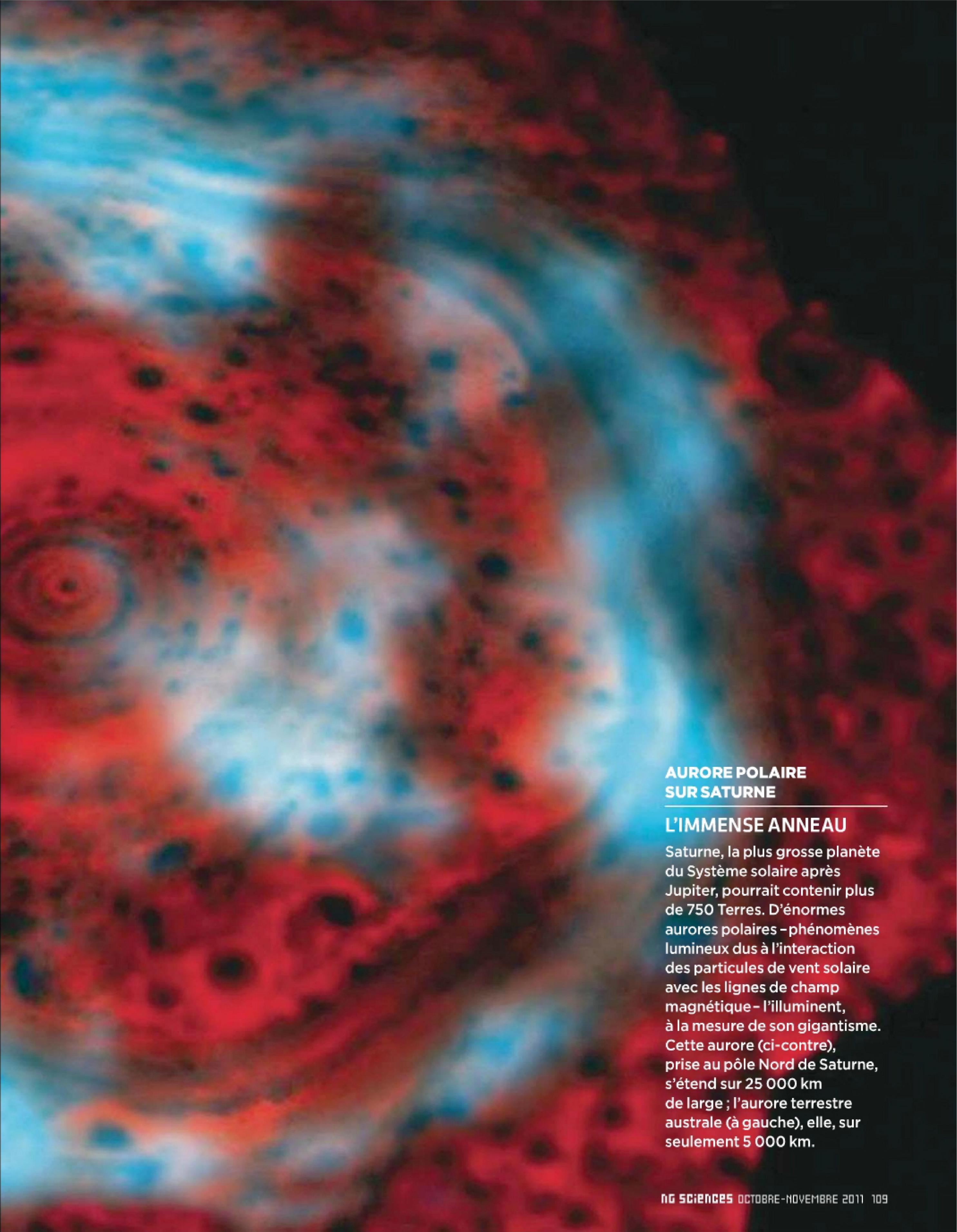
>À LIVRE OUVERT

DES PHÉNOMÈNES
LUMINEUX CINQ FOIS PLUS
ÉTENDUS SUR SATURNE
QUE SUR LA TERRE.



AURORE TERRESTRE
AUSTRALE

5000km



AURORE POLAIRE SUR SATURNE

L'IMMENSE ANNEAU

Saturne, la plus grosse planète du Système solaire après Jupiter, pourrait contenir plus de 750 Terres. D'énormes aurores polaires - phénomènes lumineux dus à l'interaction des particules de vent solaire avec les lignes de champ magnétique - l'illuminent, à la mesure de son gigantisme. Cette aurore (ci-contre), prise au pôle Nord de Saturne, s'étend sur 25 000 km de large ; l'aurore terrestre australe (à gauche), elle, sur seulement 5 000 km.

>À LIVRE OUVERT

UN VOLCAN QUI CULMINE
À 21 KM AU-DESSUS DE LA SURFACE!
LE PLUS HAUT RELIEF
CONNNU DU SYSTÈME SOLAIRE.



ÎLES HAWAII

200 km



MONT OLYMPE, SUR MARS

UN VOLCAN « DE POINT CHAUD »

Véritable symbole de Mars, ce volcan – le plus haut relief connu du Système solaire – culmine à 21 km. En partie immergé, le Mauna Kea, situé à Hawaii, ne s'élève qu'à 10,2 km au-dessus de sa base. Il s'agit, dans les deux cas, du même type de volcanisme, dit « de point chaud ». Sur terre, à mesure que les plaques tectoniques se déplaçaient, ce volcanisme donnait naissance à tout un archipel. Sur Mars, ce phénomène s'étant interrompu très tôt, la lave s'est accumulée au-dessus du point chaud, créant cette monstrueuse structure.

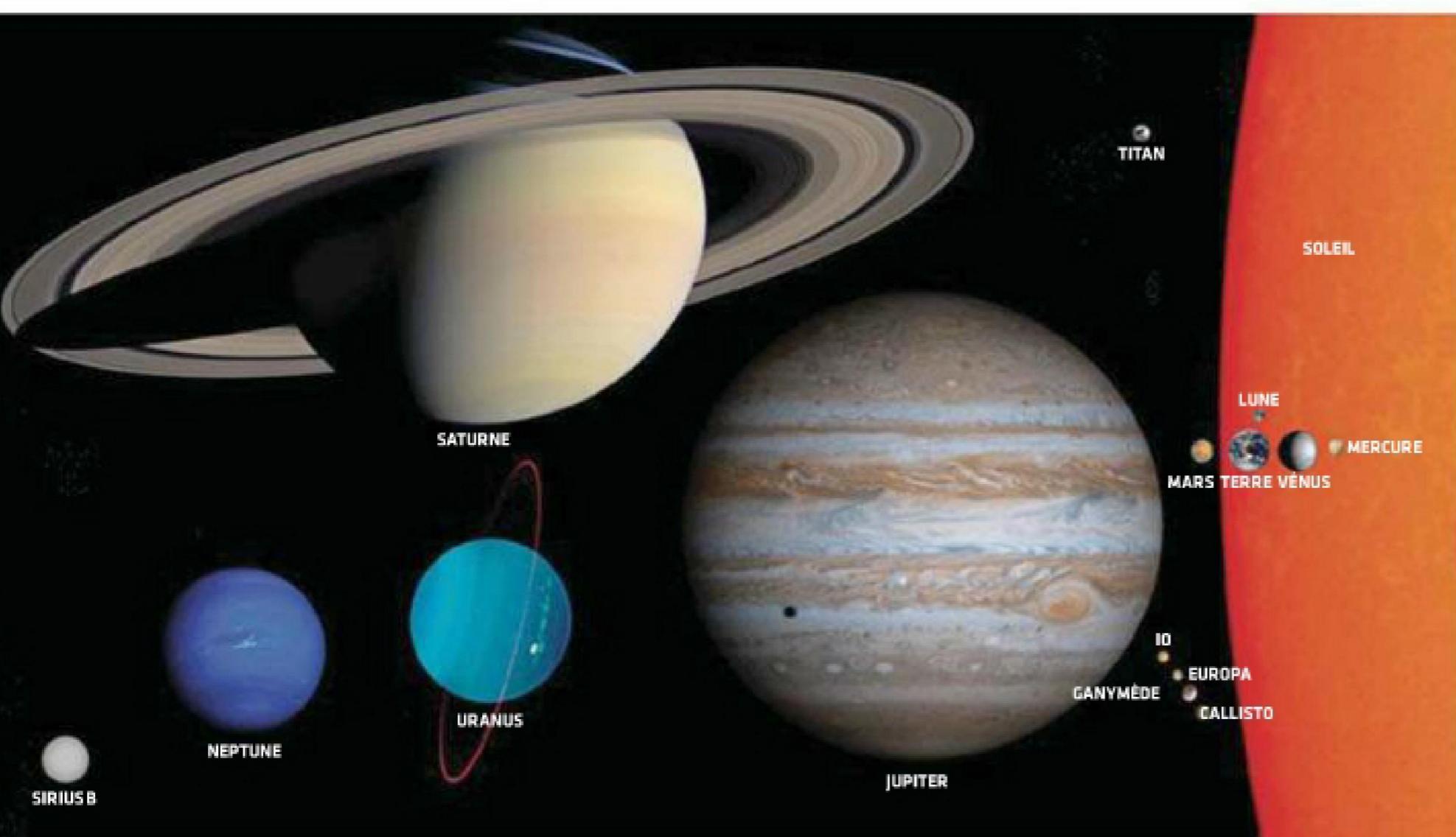
GIGANTESQUE, LA TERRE ? TRÈS MODESTE, AU CONTRAIRE.

Le penseur grec Ératosthène (276-194 av. J.-C.) fut le premier à saisir les véritables dimensions de notre planète. Grâce à une expérience devenue célèbre où il compare l'angle des ombres de deux objets dans deux villes égyptiennes situées à la même longitude, il parvient à

VV Cephei serait 1 500 fois plus grande que le soleil

kilomètres ! Ses taches (des régions d'intense activité magnétique) sont d'une taille comparable à celle de la Lune. Un million de planètes comme la nôtre pourraient loger dans cette boule de gaz. Vertigineux, d'autant que le Soleil fait figure de nain comparé à certaines de ses cousines galactiques, comme VV Cephei, de Céphée. Elle serait au moins 1 500 fois plus grande que lui. Si elle trônait au milieu du Système solaire, elle occuperait l'espace jusqu'à l'orbite de Saturne.

POUR DÉTERMINER le diamètre d'une étoile, il faut connaître la distance qui la sépare de nous et sa taille apparente. Pour une taille apparente donnée, plus une étoile est lointaine, plus elle est grande. La Lune et le Soleil, par exemple, ont la même. Mais le Soleil est bien plus loin de nous (150 millions de kilomètres contre 380 000 pour la Lune) et donc... bien plus grand ! Une histoire de taille que n'aurait pas reniée Ératosthène. □



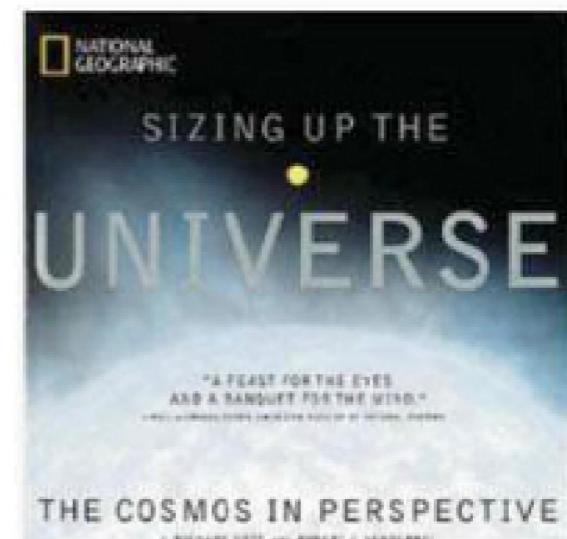
JUPITER ET SATURNE sont les géantes du Système solaire. Et pourtant, elles ont l'air de microbes comparées au Soleil. Qui lui-même affiche une taille ridicule face à certains monstres stellaires.

estimer la circonférence de la Terre avec une étonnante précision. Son résultat ? 39 375 km : il tombe juste à 2 % près ! Aujourd'hui, grâce aux mesures réalisées avec des GPS, la circonférence de la Terre est connue au millimètre près. À l'équateur, elle vaut 40 075,017 km, et d'un pôle à l'autre 40 007,860 km !

Gigantesque, la Terre ? Modeste, au contraire, si on la compare à d'autres planètes. Jupiter, la championne du Système solaire, mesure près de 450 000 km de circonférence. Volumineuse, on pourrait y loger plus

de 1 300 Terres ! Et sa surface est environ 120 fois plus grande que celle du globe terrestre. Là-bas, les structures nuageuses affichent une envergure impressionnante : la plus connue d'entre elles, la grande tache rouge, mesure 25 000 km sur 12 000, contre seulement 1 300 km de diamètre pour l'ouragan Katrina.

COLOSSALE, JUPITER ? Face au Soleil, plutôt ridicule. Notre étoile concentre pas moins de 99 % de la masse totale du Système solaire. Sa circonférence est de 4,4 millions de



SIZING UP THE UNIVERSE
J. Richard Gott et
Robert J. Vanderbei
(en anglais).

248 pages, broché,
tout en couleur 35 \$
National Geographic.

Bettina Laville avocate à Paris spécialiste du développement durable/suit de près les travaux du Giec sur le climat.



ULIEN GOLDSTEIN

PARCOURS

Elle crée, en 1982, le premier festival de films sur l'environnement. Devient directrice de cabinet (1991) de Brice Lalonde, puis conseillère de Pierre Bérégovoy et de François Mitterrand (1993-1995), et de Lionel Jospin (1997-2001). Participe aux conférences de Rio et de Kyoto. Après le Conseil d'État, en 2008, elle entre comme avocate associée chez Landwell-PWC.

À BREST, en juillet dernier, deux cents scientifiques du monde entier se sont réunis dans le cadre du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution des climats (Giec). En jeu : l'élaboration du cinquième rapport scientifique du Giec, qui doit paraître en 2013 et 2014. Après la tempête médiatique qui s'est abattue sur cet organisme suite à la conférence de Copenhague (2009), cette réunion avait une valeur symbolique en France, où sévit l'un des détracteurs acharnés de l'institution internationale chargée de surveiller le climat, j'ai nommé Claude Allègre. L'ancien ministre s'est cependant montré un peu plus silencieux depuis que l'Académie des sciences a reconnu à l'unanimité que l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère était une cause importante du réchauffement climatique.

MAIS ON N'A PAS REMARQUÉ d'évolution notable dans la préparation de ce cinquième rapport. Pourtant, Jean Jouzel, vice-président du groupe scientifique I du Giec, a bien insisté : pour la première fois, les projections à court terme seront dissociées des projections à long terme. Par projections à court terme, le Giec entend celles qui peuvent être faites d'aujourd'hui à 2040 ou 2050 – le choix n'est pas encore définitif. Il y aura donc, en 2013, deux chapitres, soit deux types de modélisation : celles qui nous amèneront jusqu'au milieu du siècle, et les autres, qui concerneront la période 2050-2100 – et au-delà. Il s'agit de prendre conscience de la difficulté qu'il y a à « faire tourner » des modèles à long terme alors que subsistent beaucoup d'incertitudes comme, entre autres, l'influence des nuages dans le réchauffement, ou les interactions du couple océan-atmosphère.

Sur le plan scientifique, il s'agit de mieux prendre en compte la « mémoire de l'océan ». On sait que les mers mémorisent les conditions atmosphériques à travers la température et la salinité des eaux mises au contact de

l'atmosphère. Cette mémoire est d'ailleurs infiniment supérieure à celle de l'atmosphère et peut, du fait de l'inertie mécanique et thermique de l'océan, enregistrer durant des centaines d'années l'influence d'un phénomène initial particulier. Le Giec, en ne prenant pas seulement en considération les températures de surface, mais aussi les températures intermédiaires et profondes de l'océan, escompte que ces nouvelles mesures permettront d'affiner les projections et donneront peut-être plus d'assises aux prévisions décennales réclamées par l'ensemble des gouvernements.

Sur le plan politique, une fois de plus, non seulement les scientifiques nous alertent sur l'urgence de l'action, mais ils s'efforcent aussi de donner aux décideurs politiques les meilleurs outils pour agir dans le temps qui leur est imparti, un temps court qui devrait les inciter à se mettre à la tâche... Mais les politiques n'en finissent pas de nous parler du monde selon la conférence de Rio, comme s'ils en avaient appliqué les recommandations et comme si les urgences ne s'étaient pas imposées. Malheureusement, la conférence de Copenhague a prouvé qu'ils avaient plutôt tendance à se réfugier dans le long terme pour ne pas avoir à agir immédiatement : le recul des délais d'action à 2050 au lieu de 2020 et 2030 en est l'illustration. Pourtant, il nous faut aujourd'hui inventer une nouvelle maîtrise du temps, en mobilisant nos forces de court terme pour sauvegarder le long terme. □

LES SCIENTIFIQUES NOUS ALERTENT SUR L'URGENCE DE L'ACTION.



Cynthia Chen géochimiste navire de recherche l'Aurora Australis/ expédition scientifique en Antarctique.

VOICI DÉJÀ UNE SEMAINE que j'ai quitté mon laboratoire de géochimie sur les isotopes radiogéniques du Dartmouth College (New Hampshire, États-Unis). Là-bas, l'été s'achève, alors qu'ici, dans l'océan austral, c'est déjà l'hiver. Et pas n'importe lequel ! Si le thermomètre affiche -10°C , la température ressentie frôle plutôt les -30°C ou -35°C à cause du vent. J'aurais d'ailleurs eu du mal à écrire la semaine dernière tant la mer était déchaînée. La nuit, je devais me sangler pour ne pas tomber du lit ! Depuis que nous avons atteint la banquise, plus de houle, plus un bruit, et dans ce silence inespéré, on n'entend que le chuchotement de la glace qui craque contre la coque de notre brise-glace, l'Aurora Australis. La banquise s'étend à perte de vue !

LE VENT NOUS FRIGORIFIE...

J'y ai fait mes premiers pas en compagnie de Pier et Delphine, des scientifiques rencontrés à Hobart, en Tasmanie, notre port de départ. Le travail est harassant. Pour effectuer nos prélèvements, nous devons en effet nous éloigner le plus possible du navire, chacun de nous traînant de 30 à 50 kilos de matériel dans la neige, sur un sol irrégulier. La première expédition a duré huit heures ! Un vrai travail de jeunes thésards... Pour ma part, je dois remplir de neige des bouteilles de 4 litres pour mesurer les quantités d'un élément chimique très rare, l'osmium. Le but : en découvrir des traces à l'état naturel. Nous pourrons ainsi voir s'il se trouve en plus grande quantité que l'osmium, qu'on décèle partout ailleurs dans les eaux du monde, et qui provient en grande partie de l'activité humaine (et notamment de l'utilisation de pots catalytiques).

MISSION

Jeune thésarde au Dartmouth College, Cynthia Chen effectue ici sa première expédition en Antarctique.



CYNTHIA CHEN

Le vent nous frigorifie et les sacs en plastique qui protègent l'équipement s'envolent régulièrement. Mais pour s'éloigner des hommes, rien de mieux que l'Antarctique ! À condition de ne pas contaminer nous-mêmes nos échantillons... Pour éviter ça, nous portons une combinaison intégrale blanche : l'idéal pour disparaître dans ce désert de glace.

Hier, j'ai pourtant été repérée par une petite bande de manchots curieux. Pier et Delphine sont jaloux, car ils viennent seulement vers moi ! J'ai pris une photo. Vous aimeriez y être, non ? Ce soir, c'est barbecue sur le pont, et nous aurons enfin le droit de boire des bières. Avec un peu de chance, j'apercevrai des albatros géants ou une aurore australe.

Retour au bureau dans six semaines. » □

Propos recueillis par Anaïs van Ditzhuyzen

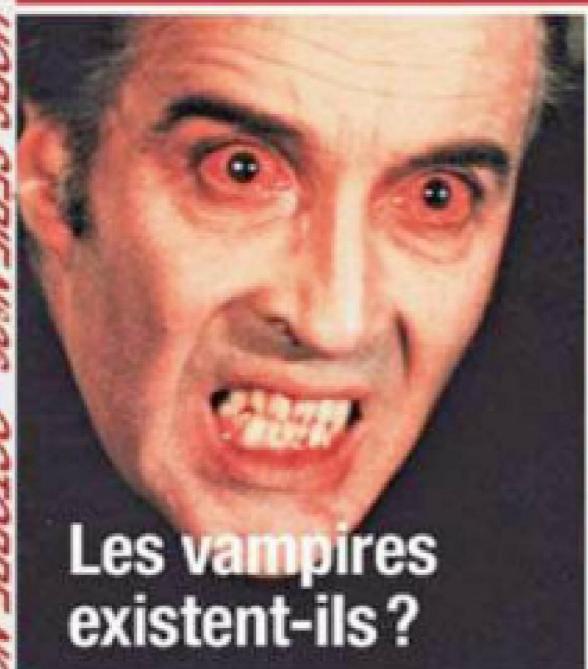
« J'AI ÉTÉ REPÉRÉE PAR UNE PETITE BANDE DE MANCHOTS CURIEUX. »

Toute la vérité sur les créatures les plus folles de notre monde... et d'ailleurs !



Questions & Réponses

HORS-SÉRIE N°26 5,50€



Les vampires existent-ils ?



À quoi sert de greffer une oreille à une souris ?

Y a-t-il encore des animaux géants sur terre ?



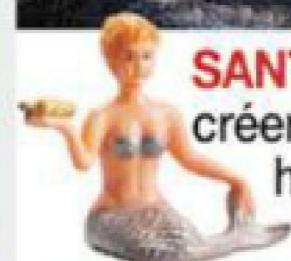
250 questions pour découvrir les
MONSTRES
créatures étranges et autres mystères



Quels démons nous attendent en enfer ?



Pourquoi est-on si laid dans les abysses ?



SANTÉ Y a-t-il des mutants dans notre assiette ? **SCIENCE** Peut-on créer un humain de toutes pièces ? **NATURE** Où se cachent les derniers hommes sauvages ? **HISTOIRE** Qui était Jack l'Éventreur ?

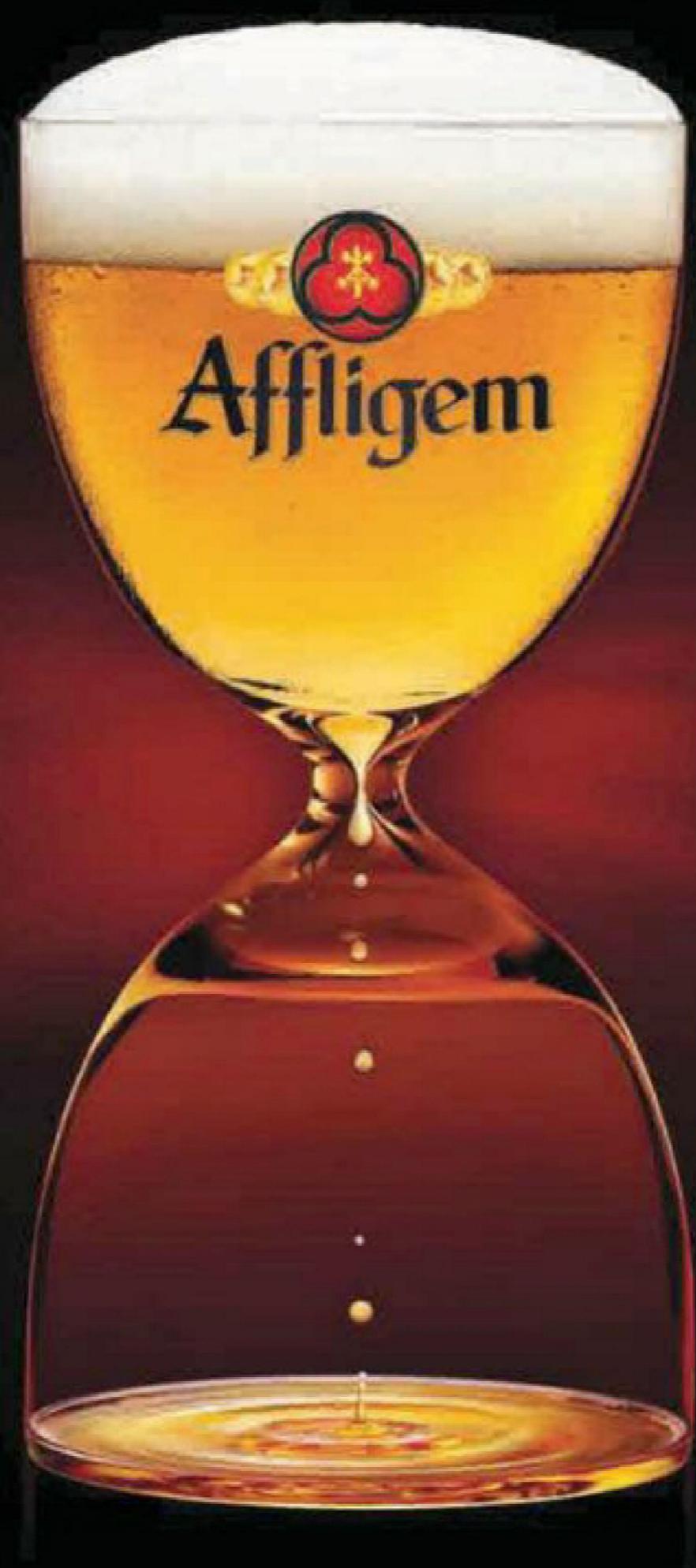
www.caminteresse.fr

www.caminteresse.fr

Se poser des questions, **ca** fait avancer.



La savoureuse minute belge.



Il faut une minute pour qu'une gorgée de bière Affligem
révèle toutes ses saveurs.